



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN  
HIDROGRÁFICA  
DEL EBRO

2023

## SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EMBALSE DE SABIÑÁNIGO



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS  
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



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

**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, Omar Monteoliva y Susana Deus

**PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:**

114.425,25 Euros

**CONTENIDO:**

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

**AÑO DE EJECUCIÓN:**

2023

**FECHA ENTREGA:**

NOVIEMBRE 2023



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Vista panorámica del embalse de Sabiñánigo

Superior derecha: Ejemplar de madrilla

Inferior izquierda: Localización de red agallera

Inferior derecha: Acceso de la embarcación al embalse mediante grúa

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2023) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Embalse de Sabiñánigo 50 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: EMBALSE DE SABIÑÁNIGO. AÑO 2023

---

*El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces del embalse de Sabiñánigo. Para ello, en julio 2023 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*) 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 co-dominada en densidad por el piscardado (*Phoxinus phoxinus*), que representa el 55% y la madrilla (*Parachondrostoma toxostoma*), que aporta el 45%. En lo que respecta a la biomasa de peces, la madrilla, única especie detritívora, domina la asociación con un 90% del total.*

*La densidad estimada fue de  $3,4 \pm 0,98$  ind/dam<sup>3</sup> y que representa un valor moderado, pero la biomasa es muy baja  $0,38 \pm 0,11$  g/m<sup>2</sup>, propia de un ecosistema muy poco productivo.*

*Los análisis realizados mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA), corroboran las capturas de los muestreos: presencia de trucha común y ausencia de anguila europea.*



## HYDROACOUSTIC SURVEY IN RESERVOIRS OF THE EBRO RIVER BASIN DISTRICT: SABIÑÁNIGO RESERVOIR. YEAR 2023

---

*The aim of this report is to evaluate the abundance and biomass of the fish biocenosis of the Sabiñánigo reservoir. To this end, a quantitative sampling of fish in the reservoir was carried out in July 2023, using a combination of techniques: direct sampling by means of scientific gillnets (CEN-EN 14.757/2006) and electrofishing from a boat, and indirect sampling by means of high-quality scientific hydroacoustic techniques.*

*In addition, eDNA sampling and analysis was carried out to detect the presence of two species that may be present in numbers too low to be detected by direct fishing techniques. The brown trout (*Salmo trutta*) and the European eel (*Anguilla anguilla*), two native species in decline in the reservoirs of this demarcation.*

*The results show that the association is clearly co-dominated in terms of density by the Adour minnow (*Phoxinus phoxinus*), which represents 55%, and the Ebro nase (*Parachondrostoma miegii*), which contributes 45%. In terms of fish biomass, the Ebro nase, the only detritivorous species, dominates the association with 90% of the total.*

*The estimated density was  $3.4 \pm 0.98$  ind/dam<sup>3</sup>, which is a moderate value, but the biomass is very low ( $0.38 \pm 0.11$  g/m<sup>2</sup>, typical of a very unproductive ecosystem).*

*Analyses carried out using the most sensitive technique known (eDNA) confirm the results of the sampling: presence of brown trout and absence of European eel.*

## 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>	15
2.4. <i>POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO .....</i>	17
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>17</b>
3.1. <i>DISEÑO DEL MUESTREO.....</i>	18
3.2. <i>MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA .....</i>	19
3.2.1. <i>Prospección hidroacústica.....</i>	19
3.2.2. <i>Procesado de datos acústicos.....</i>	20
3.3. <i>MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA.....</i>	21
3.3.1. <i>Redes agalleras multipaño .....</i>	21
3.3.2. <i>Pesca eléctrica desde embarcación.....</i>	23
3.4. <i>INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES .....</i>	24
3.5. <i>EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI.....</i>	24
3.6. <i>DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGUILA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL.....</i>	26
3.6.1. <i>Muestreo de ADN ambiental (eDNA) .....</i>	26
3.6.2. <i>Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua .....</i>	26
3.6.3. <i>Detección específica de trucha común.....</i>	27
3.6.4. <i>Detección específica de anguila europea.....</i>	27
3.6.5. <i>Estimaciones de biomasa.....</i>	27
<b>4. RESULTADOS .....</b>	<b>28</b>
4.1. <i>SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES.....</i>	28
4.1.1. <i>Distribución y estimación de la densidad de peces.....</i>	30
4.1.2. <i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....</i>	31
4.2. <i>MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA.....</i>	34



4.2.1.	<i>Especies presentes en el embalse</i> .....	35
4.2.2.	<i>Composición y distribución de especies</i> .....	35
4.3.	<i>BIOMASA</i> .....	39
4.3.1.	<i>Distribución y estimación de la biomasa de peces</i> .....	39
4.3.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro</i> .....	40
4.4.	<i>DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES</i> .....	42
4.5.	<i>MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL</i> .....	43
4.5.1.	<i>Muestras ambientales de agua</i> .....	43
4.5.2.	<i>Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i> .....	43
4.5.3.	<i>Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i> .....	44
5.	<b>VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI</b> .....	44
6.	<b>CONCLUSIONES</b> .....	46
7.	<b>GLOSARIO Y ACRÓNIMOS</b> .....	48
8.	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	50

## 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 el embalse de Sabiñánigo .....	15
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas. ....	22
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI .....	25
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico .....	25
Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam <sup>3</sup> ) por estratos, estimada mediante acústica .....	30
Tabla 6. Especies presentes en el embalse de Sabiñánigo. ....	35
Tabla 7. Redes y esfuerzos aplicados en los muestreos directos en el embalse de Sabiñánigo .....	35
Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies .....	36
Tabla 9. Recorridos de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos del embalse de Sabiñánigo.....	37
Tabla 10. Biomasa de peces por estratos (g/m <sup>2</sup> ) estimada mediante acústica .....	39
Tabla 11. Densidades (ind/dam <sup>3</sup> ) y biomásas (g/m <sup>2</sup> ) por especie .....	42
Tabla 12. Concentración de <i>Salmo trutta</i> detectada en el embalse de Sabiñánigo .....	43
Tabla 13. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Sabiñánigo.....	45

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Imagen de la zona de cola del embalse de Sabiñánigo durante el muestreo. ....	12
<b>Figura 2.</b> Situación del embalse de Sabiñánigo .....	13
<b>Figura 3.</b> Perfiles físico-químicos en el embalse de Sabiñánigo (SAB23_S1PRO1).....	16
<b>Figura 4.</b> Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse .....	18
<b>Figura 5.</b> Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico .....	20
<b>Figura 6.</b> Colocación de red bentónica en el embalse de Sabiñánigo .....	22
<b>Figura 7.</b> Equipo de electropesca desde embarcación en el embalse de Sabiñánigo.....	23
<b>Figura 8.</b> Ubicación de las estaciones de muestreo directo en el embalse de Sabiñánigo .....	26
<b>Figura 9.</b> Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de Sabiñánigo .....	29
<b>Figura 10.</b> Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Sabiñánigo.....	30



<b>Figura 11.</b> Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW). .....	31
<b>Figura 12.</b> Comparación de la densidad con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro ..	33
<b>Figura 13.</b> Fotografías de las labores de muestreo en el embalse de Sabiñánigo .....	34
<b>Figura 14.</b> Composición de la asociación obtenida mediante redes .....	36
<b>Figura 15.</b> Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm.....	37
<b>Figura 16 .</b> Ejemplares de las especies capturadas en el embalse de Sabiñánigo .....	38
<b>Figura 17.</b> Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.....	40
<b>Figura 18.</b> Comparación de la biomasa con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro ...	41
<b>Figura 19.</b> Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN. En azul la curva de calibración y en rojo las muestras. ....	43
<b>Figura 20.</b> Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN. ....	44

## 1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en el Embalse de Sabiñánigo (Huesca) durante el año 2023, 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 fario*) 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.

Debido a la dificultad que supone acceder a este tipo de masas de agua de montaña con el equipamiento de sondeo hidroacústico, se ha realizado un esfuerzo extra, tanto en la toma de datos de campo como en el procesado de gabinete, con el fin de producir una batimetría del embalse.

En el presente informe se presentan los trabajos realizados en la evaluación de las poblaciones de peces del embalse de Sabiñánigo y en la generación de un modelo topobatimétrico de la masa de agua, 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 facilita el detalle de los datos que dan lugar a 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.

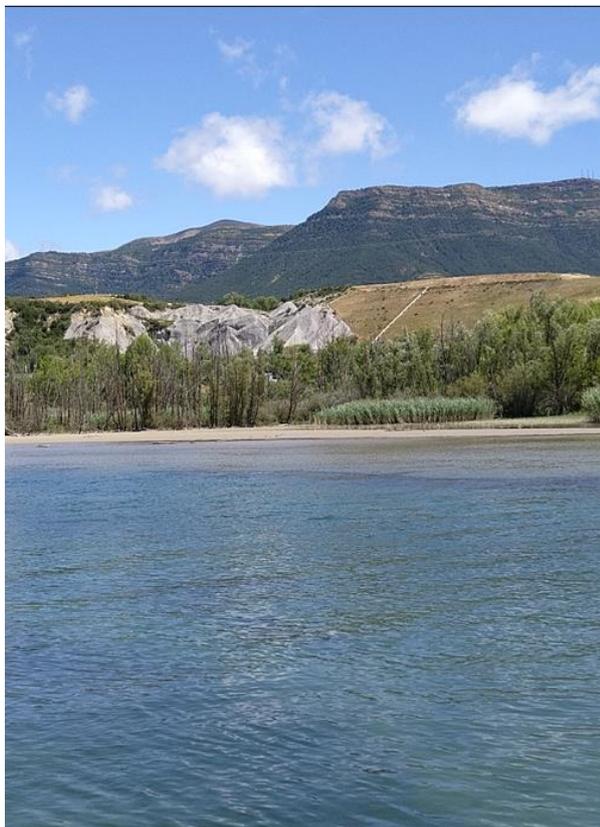
La adaptación y aplicación de estas técnicas a las masas de aguas redundan en una mejora de la cantidad y calidad de la información biológica disponible en las masas de agua no vadeables, es decir, no accesibles a las técnicas de muestreo que requieren el acceso a pie del operario, razón por la que ha 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.



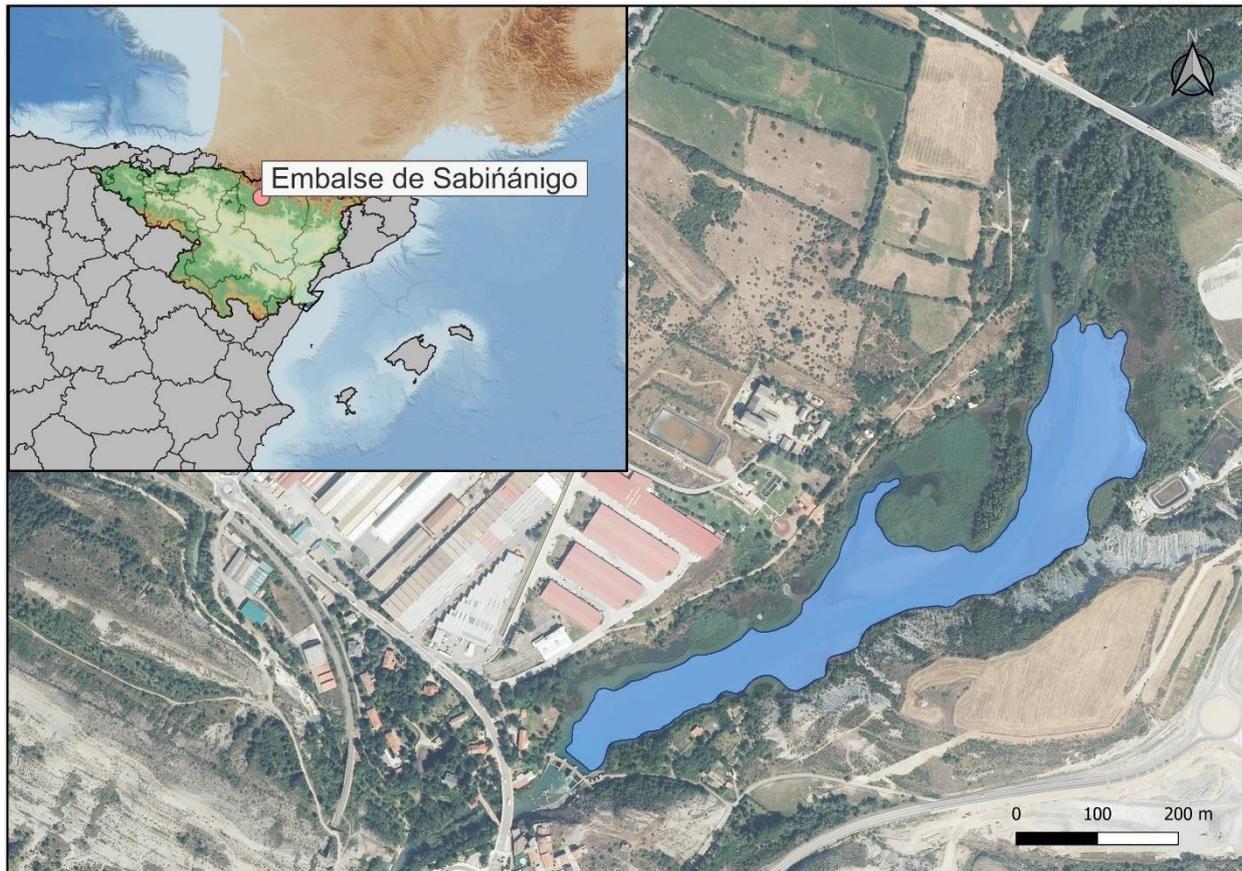
Este tipo de problemas se ponen especialmente de manifiesto en situaciones de sequía y bajas reservas de agua en los embalses, y las técnicas hidroacústicas permiten obtener la información básica necesaria mediante procedimientos ya muy afianzados, como se puede constatar en los tratados técnicos (Simmonds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

**Figura 1.** Imagen de la zona de cola del embalse de Sabiñánigo durante el muestreo.

## 2. ÁMBITO DE ESTUDIO

### 2.1. SITUACIÓN

El embalse de Sabiñánigo (MAS 39) se localiza en el término municipal de Sabiñánigo, en la provincia de Huesca, y regula las aguas del río Gállego.



**Figura 2.** Situación del embalse de Sabiñánigo

Fue construido principalmente con el propósito de regular el caudal de agua para la generación de energía hidroeléctrica. También es utilizado para abastecer de agua potable a los municipios cercanos y para actividades recreativas como la pesca y el senderismo.

## 2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Según el inventario nacional de presas y embalses, el embalse de Sabiñánigo tiene una capacidad máxima útil de 1,15 hm<sup>3</sup> y ocupa en su nivel máximo normal (NMN) una superficie de 26,66 ha, con una profundidad media de 4,5 m y máxima de 13,7 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 este caso se han realizado algunos transectos adicionales para sondear la profundidad en zonas escasamente cubiertas con el planteamiento inicial de sondeo. 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 (24 y 25 de julio de 2023) una profundidad media de 3,4 m y máxima de 6,8 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 764,2 msnm, que según la hipsometría generada corresponde a un volumen de 1,053 hm<sup>3</sup>.

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.

En la Tabla 1 se presentan el volumen y la superficie del estrato considerado en este caso, obtenido a partir de la batimetría elaborada en el presente Estudio. 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.).

No obstante, más que los valores absolutos, lo importante es conocer la importancia relativa de cada estrato para la ponderación de las densidades y biomásas.

**Tabla 1.** Estratos considerados en el embalse de Sabiñánigo

Embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm <sup>3</sup> )	Superficie (ha)
SAB23	1	1	0 a 6,8	1,05	3,13

### 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, clorofila-a y turbidez.

En la Figura 3 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 (SAB23\_S1PRO1).

Como se observa en el perfil, en la zona principal del vaso del embalse, la profundidad máxima en el momento del muestreo alcanza aproximadamente los 3,5 metros. La temperatura es constante a lo largo de toda la columna de agua con una media de 16,1°C. Las condiciones de oxigenación se mantienen también constantes a lo largo de la columna de agua y alcanzan una concentración media de 11,24 mg O<sub>2</sub>/L.

El pH del embalse es básico en toda la columna de agua, con un valor medio de 8,48 unidades de pH. La transparencia del agua registrada mediante el disco de Secchi es de 3,5 m, lo que supone una profundidad de la capa fótica aproximada de 8,8 m. La conductividad media es de 236 µS/cm manteniéndose constante a lo largo de toda la columna de agua.

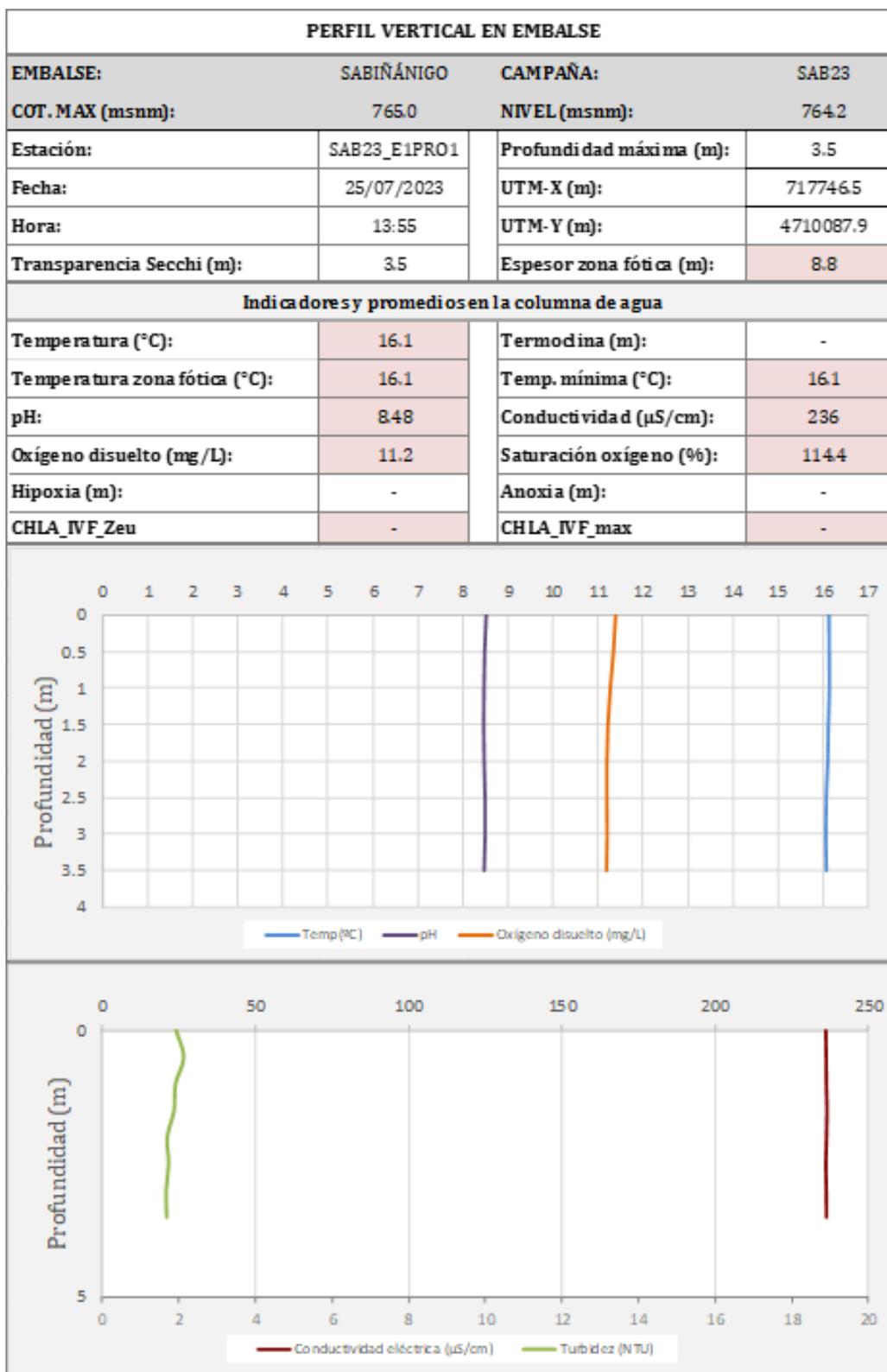


Figura 3. Perfiles físico-químicos en el embalse de Sabiñánigo (SAB23\_S1PRO1)

## 2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO

El embalse de Sabiñánigo se cataloga en el ecotipo E-T07 (Monomítico). Este embalse está incluido en la red de control de vigilancia y la red de control operativo, y ha sido catalogado como oligotrófico (En Riesgo según RD 47/2022) y con potencial ecológico “bueno o superior” y con un estado final del embalse “Inferior a Bueno”, según el informe final de Seguimiento de Embalses 2022 de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2022).

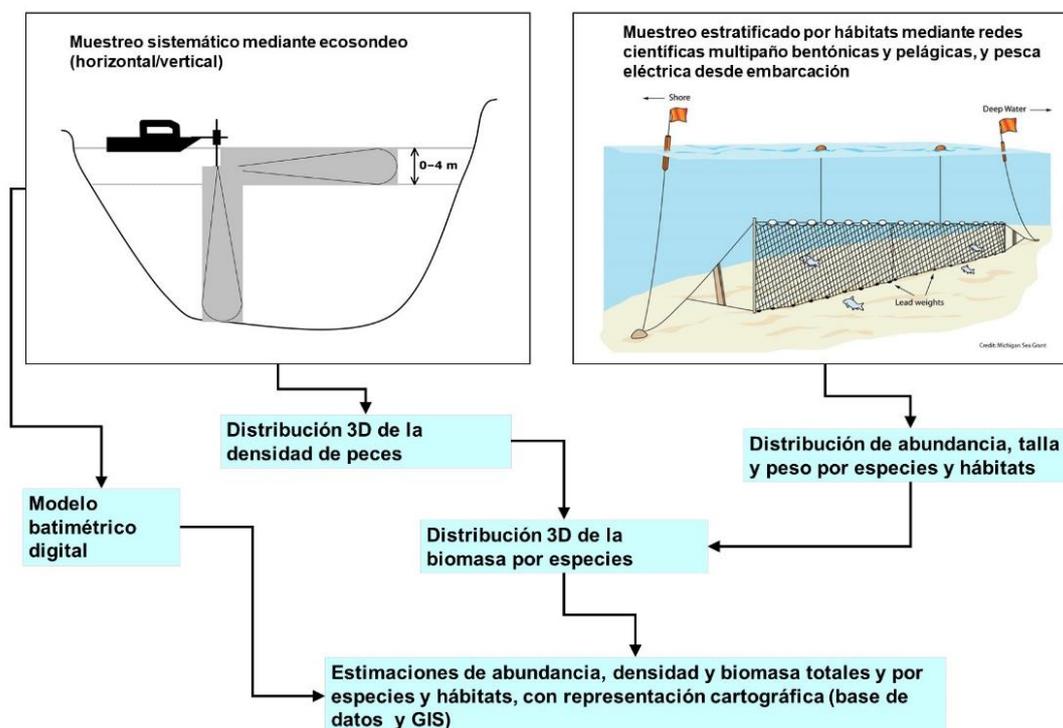
## 3. METODOLOGÍA

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 4, 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 4.** 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 biomasa 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 24 y 25 de julio de 2023.

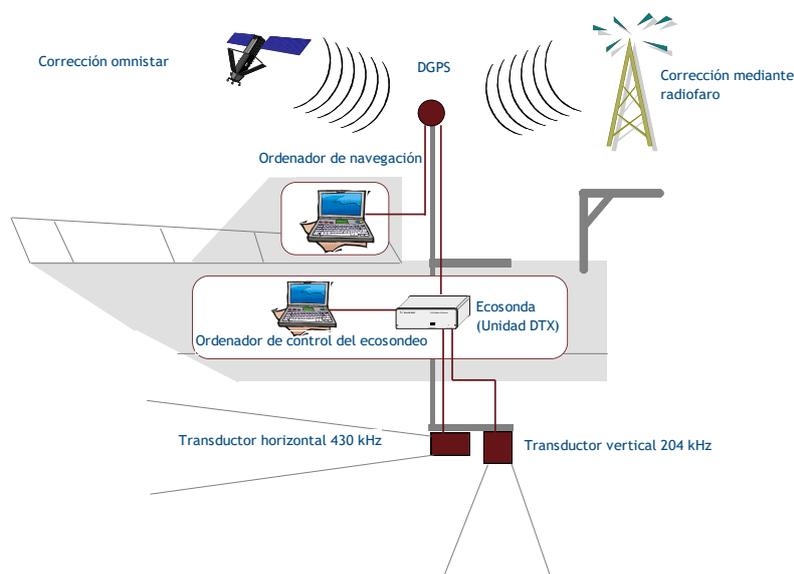
### **3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA**

#### **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  $10^{\circ}$ , 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 5.** 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 caso se ha aplicado la técnica de ecoconteo 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 el caso de la ecointegración 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 6.** Colocación de red bentónica en el embalse de Sabiñánigo

### 3.3.2. Pesca eléctrica desde embarcación

Además de las pescas con redes, en las zonas litorales someras (hasta 2 metros), especialmente en presencia de macrófitos acuáticos o vegetación de ribera, se realizó un muestreo complementario mediante pesca eléctrica desde embarcación.

Dada la complicada logística para acceder a los lagos de montaña, que se hubo de realizar en helicóptero, los métodos y materiales para hacer frente a 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 en horas crepusculares.



**Figura 7.** Equipo de electropesca desde embarcación en el embalse de Sabiñánigo

### 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 convenientemente cubicados 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 realiza un promediado de las estimaciones por celdas, que posteriormente se pondera en función del volumen (densidad) o de la superficie (biomasa) de cada capa. Este promedio se realiza sobre los valores densidad y biomasa por celda.

Debido a la escasa profundidad de la masa de agua en el momento del muestreo y a su homogeneidad físico-química, en este caso solamente se ha considerado un estrato:

- L1: Estrato superior - *Upper Open Water (UOW)*

Se calcula además el error estándar y los intervalos de confianza de las estimaciones de densidad, asumiendo una distribución normal de probabilidad, lo que está justificado cuando el índice de cobertura ( $D_a$ ) es superior a 6 (Simmonds & McLennan, 2005), valor que se supera ampliamente con la intensidad de muestreo planteada en este trabajo.

### 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 ANGIULA 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 8, se representa la ubicación de los puntos de muestreo de eDNA, junto a la 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.

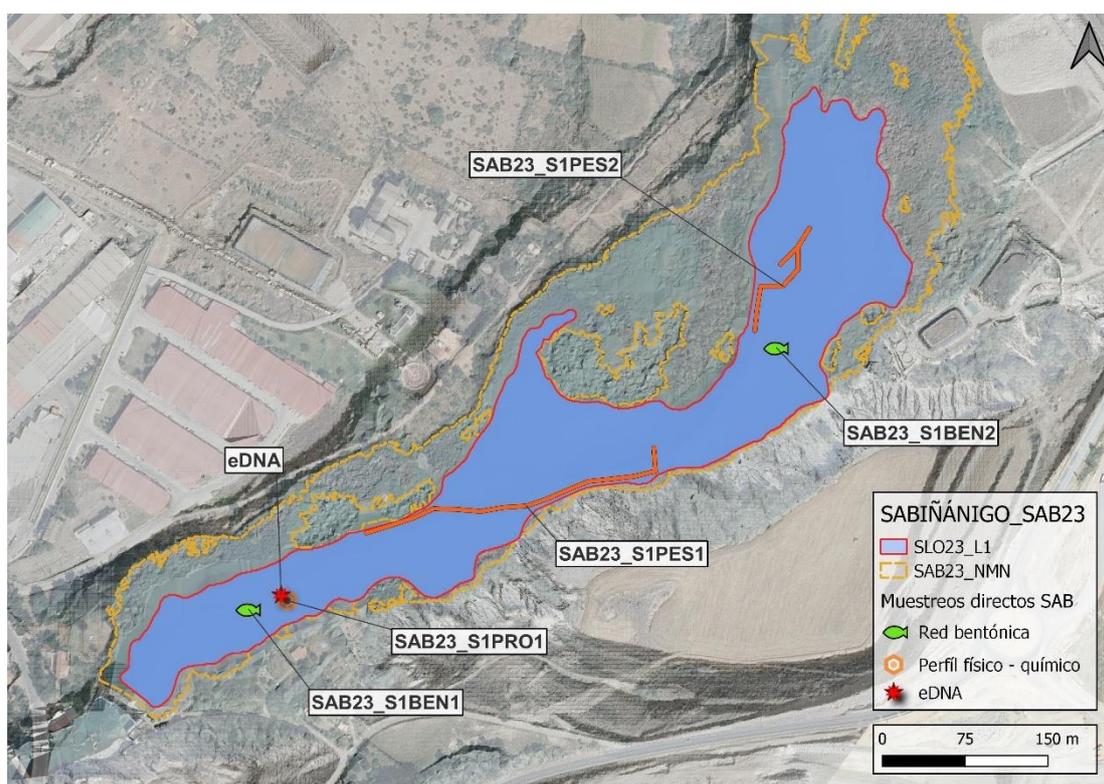


Figura 8. Ubicación de las estaciones de muestreo directo en el embalse de Sabiñánigo

#### 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 fue preciso filtrar las muestras con bombas de presión negativa y filtros de 0,8 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 DNeasy Blood & Tissue Kit de Qiagen. Una vez aislado el ADN de las muestras ambientales, las extracciones se conservaron congeladas hasta su posterior análisis.

Las detecciones tanto de trucha común como de anguila europea se realizaron mediante PCR cuantitativa (qPCR) en un termociclador Quantum studio 3.

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

Para la detección de trucha común se utilizó un marcador específico y una sonda *TaqMan MGB* (Gustavson *et al.*, 2015, siguiendo las recomendaciones de Fernández *et al.*, 2018). El marcador 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 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 marcador específico de desarrollo propio de Ecohydros. El marcador específico de *Anguilla anguilla* funciona igual 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.

Para ello, se calcula una recta patrón de diluciones seriadas con amplicones del fragmento especie-específico, obtenido mediante PCR convencional de una muestra de siluro del banco de tejidos del Laboratorio de Genética Ambiental de Ecohydros. Para poder obtener dicha recta patrón, se cuantifica mediante fluorimetría (Qubit, ThermoFisher) la concentración de los amplicones utilizada, pudiendo así calcular posteriormente la concentración de las muestras que corten la recta. La cantidad de ADN se transforma matemáticamente a moléculas por mL gracias a que conocemos la composición molecular de la secuencia del amplicón.

Esta fórmula se calcula gracias al conversor de ThermoFisher (<https://shorturl.at/fhLNO>) para deducir la cantidad de producto a pipetear en un volumen de 1500 µl para obtener un stock de 108 copias de ADN. De ahí se hicieron diluciones y la recta patrón utilizada fueron desde 105 copias hasta 1 copia.

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. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

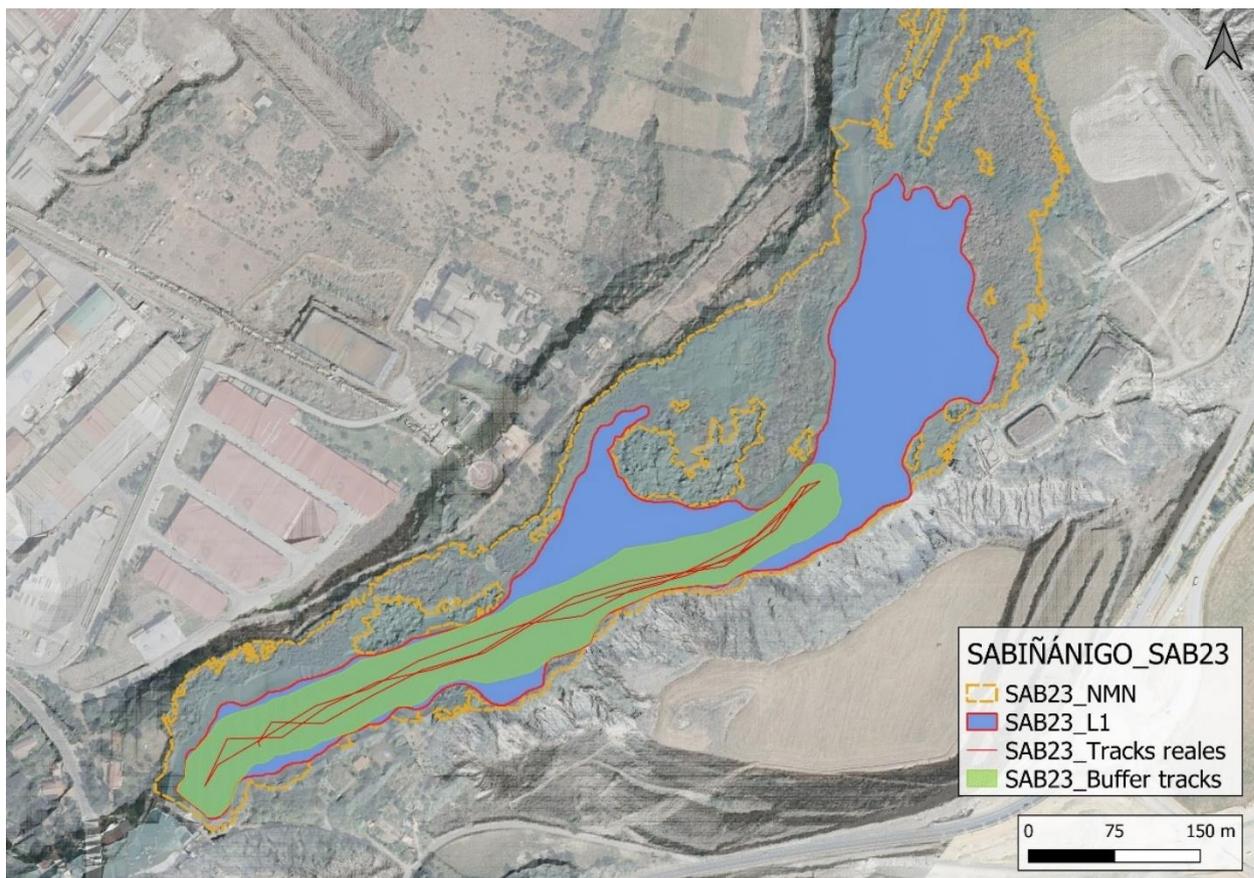
Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 2,21 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 13. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 9.

Obsérvese que los recorridos realizados se circunscriben al contorno del agua (rojo) correspondiente con el día de muestreo.

Las condiciones hidromorfológicas del embalse, junto con la topografía del lecho que se ha naturalizado hasta parecerse al lecho de un río, han generado dificultades significativas para la navegación en ciertas partes del embalse. La elevada densidad de macrófitos sumergidos obstaculiza la navegación al ocupar grandes áreas de la superficie del agua, restringiendo los espacios libres para la navegación.

Además, en la zona de la cola del embalse la corriente fluvial de entrada, combinada con la escasa profundidad, complica aún más la navegación. Esta corriente puede desviar o afectar la dirección de las embarcaciones, dificultando su control y maniobrabilidad.

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 9.** Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de Sabiñánigo

En la Figura 10 se muestra un ejemplo de un ecograma del embalse de Sabiñánigo realizado con haz horizontal desde la zona navegable del antiguo cauce del río Gállego. En el ecograma se puede observar ruido provocado por la corriente que entra al embalse. Debido a la escasa profundidad, el haz horizontal sólo alcanza 6 metros de distancia antes de chochar con el fondo o la orilla. Se aprecian pequeñas señales en color amarillo probablemente alevines de madrilla.

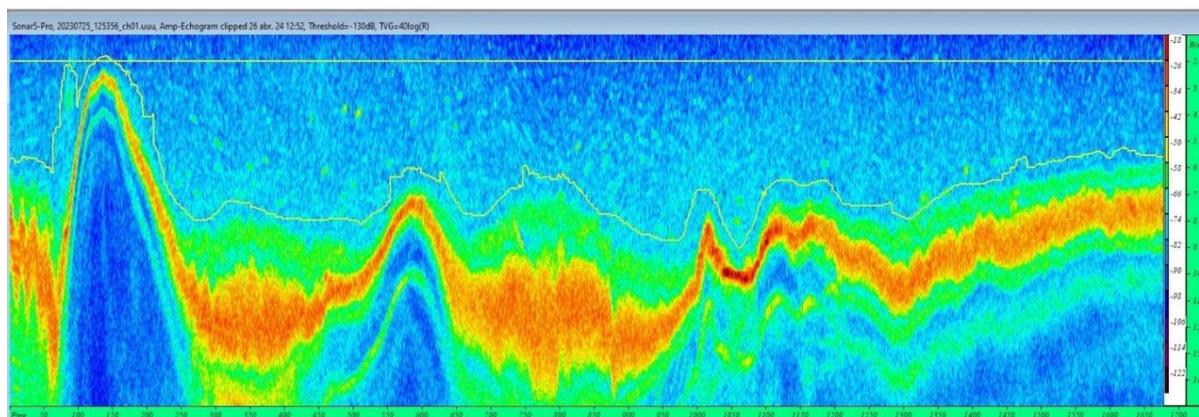


Figura 10. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Sabiñánigo.

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

En la Tabla 5 se ofrecen los estadísticos descriptivos de cada estrato vertical analizado. La densidad se ha expresado en individuos por decámetro cúbico ( $1 \text{ dam}^3 = 1.000 \text{ m}^3$ ). Los valores de densidad son bajos y no se aprecian diferencias significativas entre estratos de profundidad.

Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam<sup>3</sup>) por estratos, estimada mediante acústica

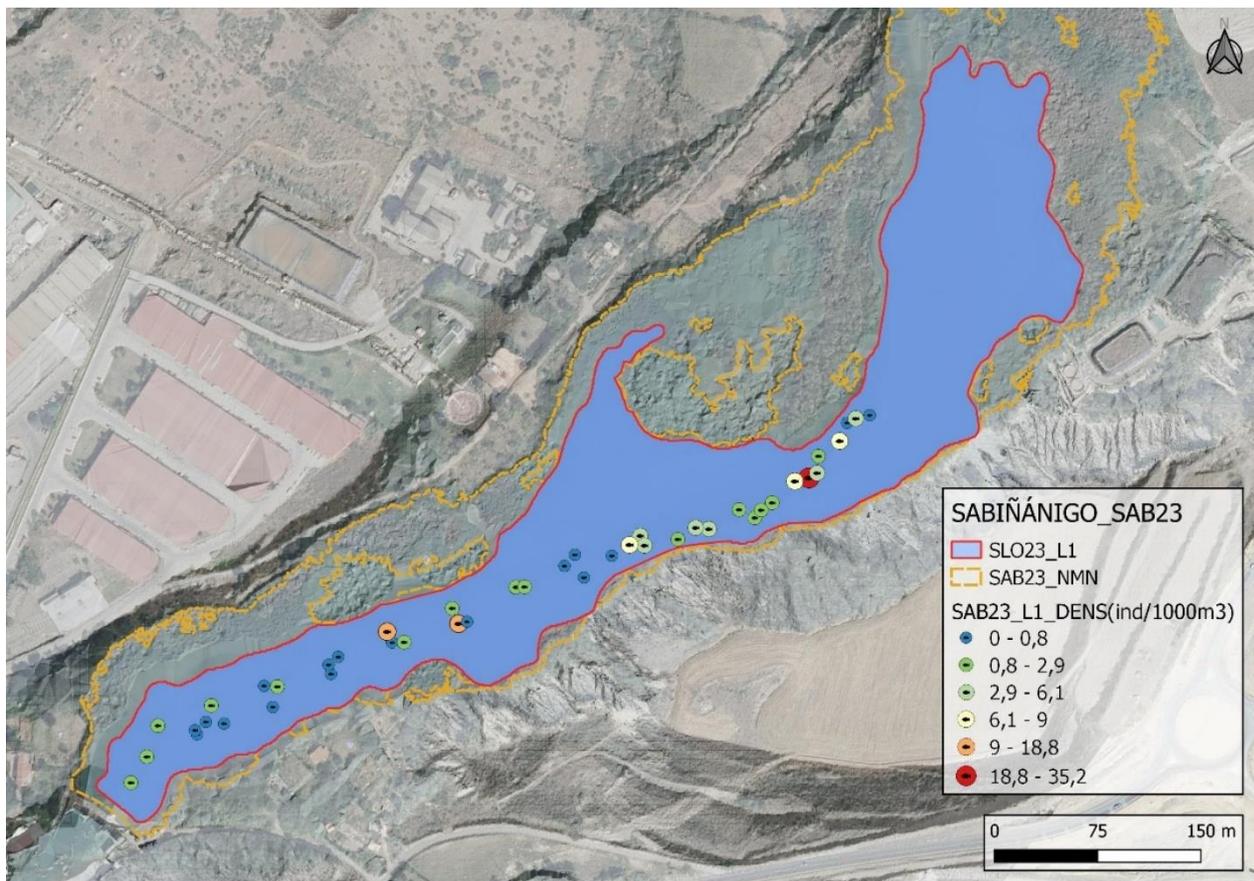
Embalse	Sector	Estrato	Densidad media (ind/1000m <sup>3</sup> )	Densidad máxima (ind/1000m <sup>3</sup> )	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
SAB23	1	1	3,395	35,23	45	10	5,998

La densidad resultante en el conjunto del embalse es de  $3,40 \pm 0,99 \text{ ind/dam}^3$ . Se trata de un valor intermedio, propio de ecosistemas lénticos en los que no hay especies formadoras de bancos densos, generalmente exóticas.

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. Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.

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 la zona inaccesible a la navegación por presencia de formaciones densas de macrófitos acuáticos es muy extensa, lo que limita el análisis hidroacústico a las inmediaciones del antiguo cauce del río Gállego. En esa zona se puede observar un gradiente de densidad creciente hacia la parte posterior (cola) del embalse.



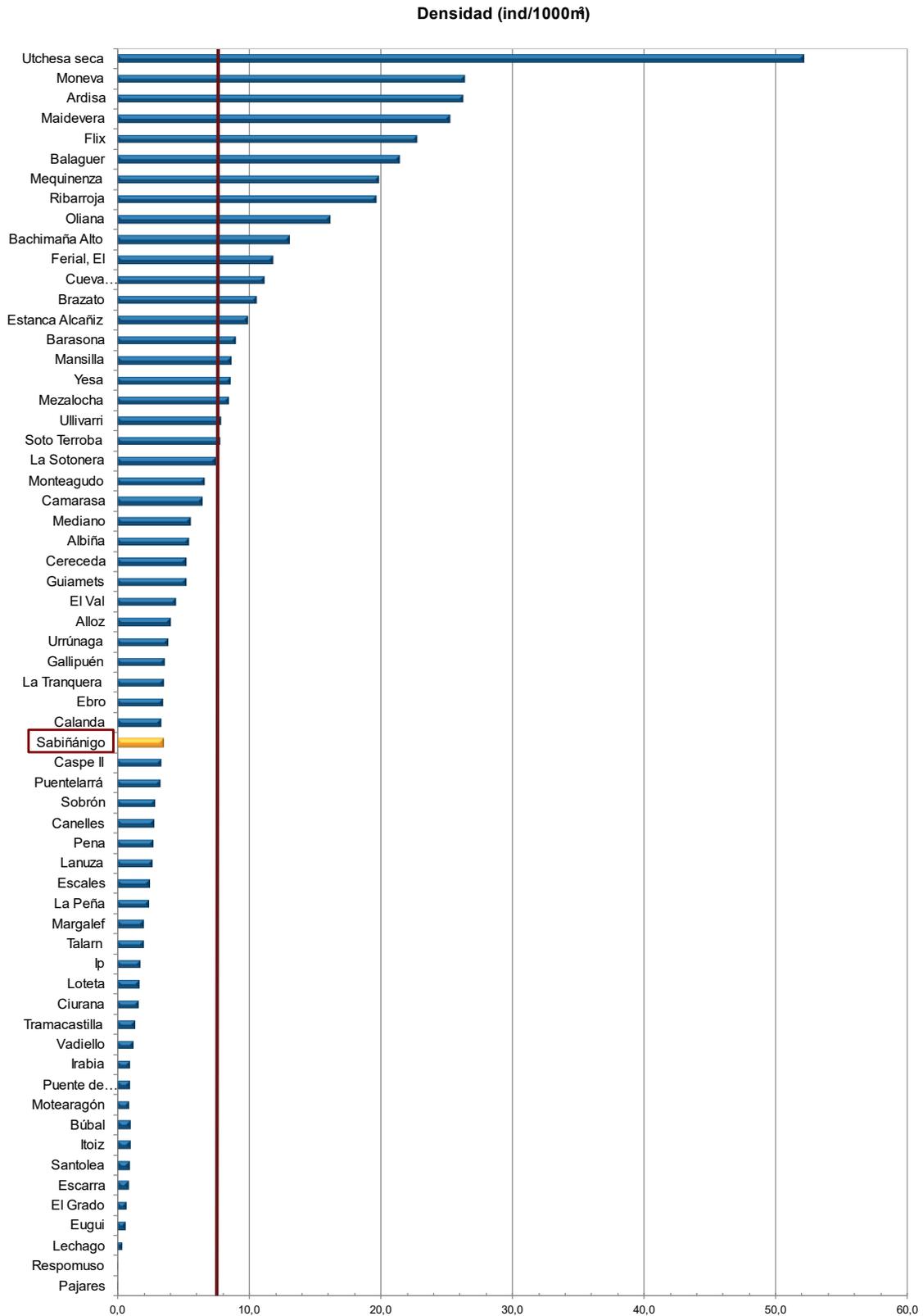
**Figura 11.** Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW).

#### 4.1.2. 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 Sabiñánigo, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro en los que 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 Ribarroja y el Humedal de Utchesa Seca constituyen extremos por el lado superior de la distribución.



El valor de densidad obtenido para el embalse de Sabiñánigo queda muy por debajo de los valores medios en el conjunto de embalses estudiados en la cuenca del Ebro, y se puede considerar muy bajo en el contexto de la demarcación hidrográfica del Ebro.



**Figura 12.** Comparación de la densidad con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro

#### 4.2. 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.



Vista panorámica del embalse de Sabiñánigo



Acceso embarcación con grúa



Tareas de desinfección de embarcación



Ejemplares de piscardo (*Phoxinus phoxinus*) capturados



Técnicos realizando labores de electropesca



Técnico colocando red epipelágica

**Figura 13.** Fotografías de las labores de muestreo en el embalse de Sabiñánigo

#### 4.2.1. Especies presentes en el embalse

De las tres (3) especies detectadas en los muestreos de diferente tipo realizados en el embalse de Sabiñánigo, todas ellas resultaron ser autóctonas en la demarcación hidrográfica del Ebro (Tabla 7).

**Tabla 6.** Especies presentes en el embalse de Sabiñánigo.

Nombre científico	Nombre común	Autóctono/alóctono
<i>Parachondrostoma miegii</i>	Madrilla	Autóctona
<i>Phoxinus phoxinus</i>	Piscardo	Autóctona
<i>Salmo trutta fario</i>	Trucha común	Autóctona

#### 4.2.2. Composición y distribución de especies

##### Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 224 ejemplares, con un peso total de 2,88 kg, lo que supone 144 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 1,85 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 2 redes en 8 horas de pesca (3,14 unidades de esfuerzo). En la Figura 8, se representa la ubicación de las redes de muestreo y los recorridos de pesca eléctrica.

**Tabla 7.** Redes y esfuerzos aplicados en los muestreos directos en el embalse de Sabiñánigo

Tipo de lance	Código	Número de paños	Longitud (m)	Altura (m)	Esfuerzo
Red bentónica	SAB23_S1BEN1	16	40	1,5	1,56 x 45 m <sup>2</sup> /12h
Red bentónica	SAB23_S1BEN2	16	40	1,5	1,58 x 45 m <sup>2</sup> /12h

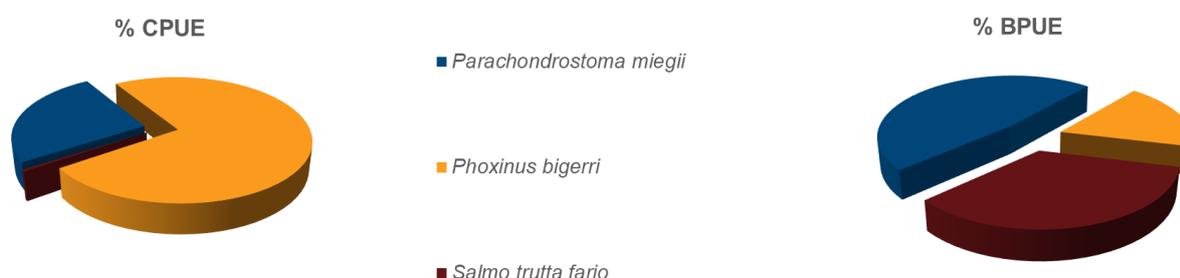
En la Tabla 8 y en la Figura 14 se facilitan los resultados obtenidos de las redes, agregados por especies y para cada uno de los estratos del embalse.

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

**Tabla 8.** 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>Parachondrostoma miegii</i>	57	37	25,5	1.380	887	47,9	136	24
<i>Phoxinus bigerri</i>	166	107	74,1	510	327	17,6	64	3
<i>Salmo trutta fario</i>	1	1	0,4	994	639	34,5	492	994
<b>Total</b>	<b>224</b>	<b>144</b>	<b>100,0</b>	<b>2.885</b>	<b>1.852</b>	<b>100,0</b>	<b>84</b>	<b>13</b>

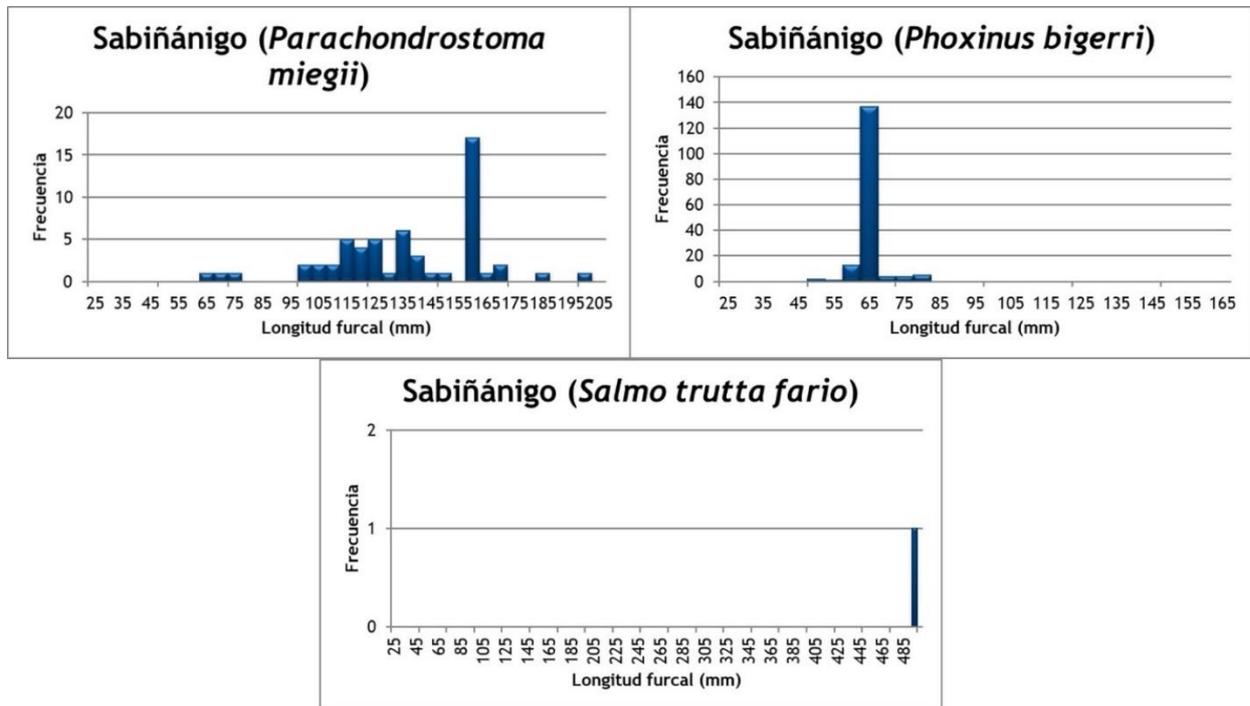
**Figura 14.** Composición de la asociación obtenida mediante redes



Se observa que la asociación está claramente dominada (74,1%) en términos de abundancia por el piscardado (*Phoxinus bigerri*) seguido de la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) (25,5%) y la trucha común (*Salmo trutta fario*) (0,4%). Sin embargo, la madrilla representa el 47,9% de la biomasa, seguida de la trucha, de la que solamente se ha obtenido un ejemplar, pero que supone un 34,5% en términos de biomasa, y el piscardado (17,6%).

En la Figura 15 se muestran los histogramas de frecuencias de las capturas por clases de talla de 5 mm. Se han incluido las capturas realizadas mediante pesca eléctrica, cuyos resultados se exponen en el apartado siguiente.

**Figura 15.** Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm



De las 3 especies capturadas en el embalse de Sabiñánigo, solamente la madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y el piscardado (*Phoxinus bigerri*) presentan poblaciones estructuradas, con ejemplares de diferentes clases de edad. La trucha común (*Salmo trutta*) habita los embalses en su fase adulta y en este caso solamente se ha capturado un ejemplar.

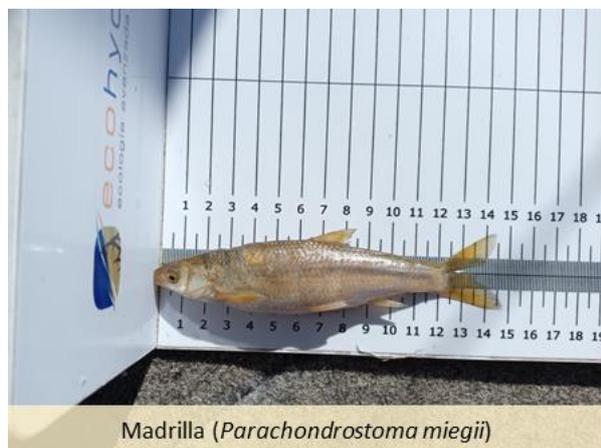
### Resultados de la pesca eléctrica

Pese al alto esfuerzo realizado con esta técnica (tres transectos que cubrieron 0,45 km de orilla) y que la conductividad eléctrica era adecuada, no se obtuvo ninguna captura. Las zonas más someras y accesibles para esta modalidad de pesca científica estaban colonizadas por vegetación acuática y sin embargo no se observó ni capturó pez alguno. Se deduce que las poblaciones de peces de este embalse tienen preferencia por zonas de aguas abiertas y circulantes, que se asemejan más a las de un río.

**Tabla 9.** Recorridos de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos del embalse de Sabiñánigo

Tipo de lance	Código	Esfuerzo
Pesca eléctrica	SAB23_S1PES1	289 m
Pesca eléctrica	SAB23_S1PES2	165 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.



**Figura 16** . Ejemplares de las especies capturadas en el embalse de Sabiñánigo

### 4.3. BIOMASA

#### 4.3.1. 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 sistema (Tabla 10).

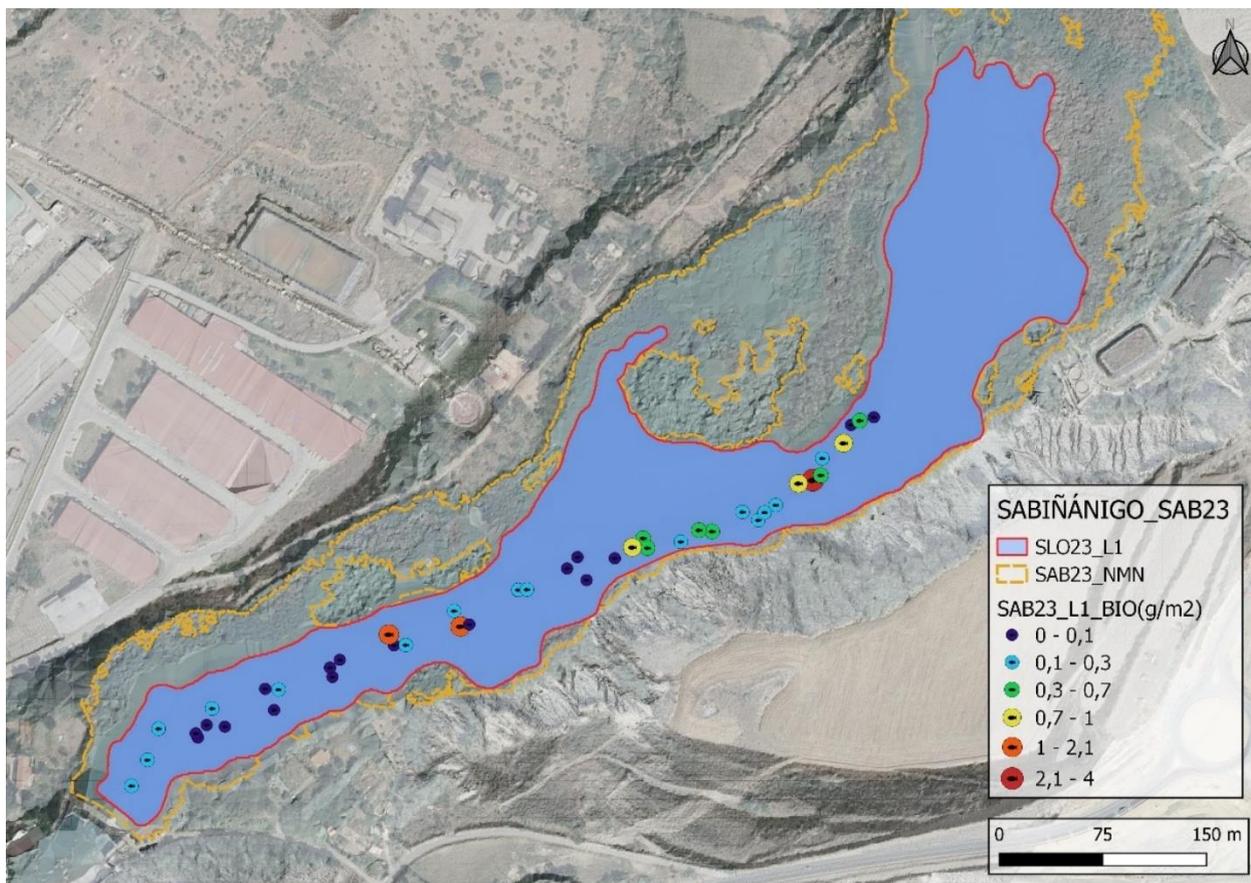
**Tabla 10.** Biomasa de peces por estratos ( $\text{g/m}^2$ ) estimada mediante acústica

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
SAB23	1	1	0,384	3,99	45	11	0,679

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomásas de cada uno de los estratos y refiriéndolo a la superficie del embalse. De esta manera se obtiene una biomasa media de  $0,38 \pm 0,11 \text{ g/m}^2$ , o lo que es lo mismo  $3,8 \text{ kg/ha}$ . Se trata de un valor muy bajo de biomasa, que podría estar relacionada con la baja productividad de la masa de agua, consecuencia del carácter oligotrófico de las aguas y de la alta renovación hidráulica, con una hidrodinámica muy similar a la de un río en la zona accesible al estudio.

En la Figura 17 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.

La distribución espacial de la biomasa es muy similar a la de la densidad, con valores más altos en la zona de cola y alguna concentración en la parte intermedia del embalse.

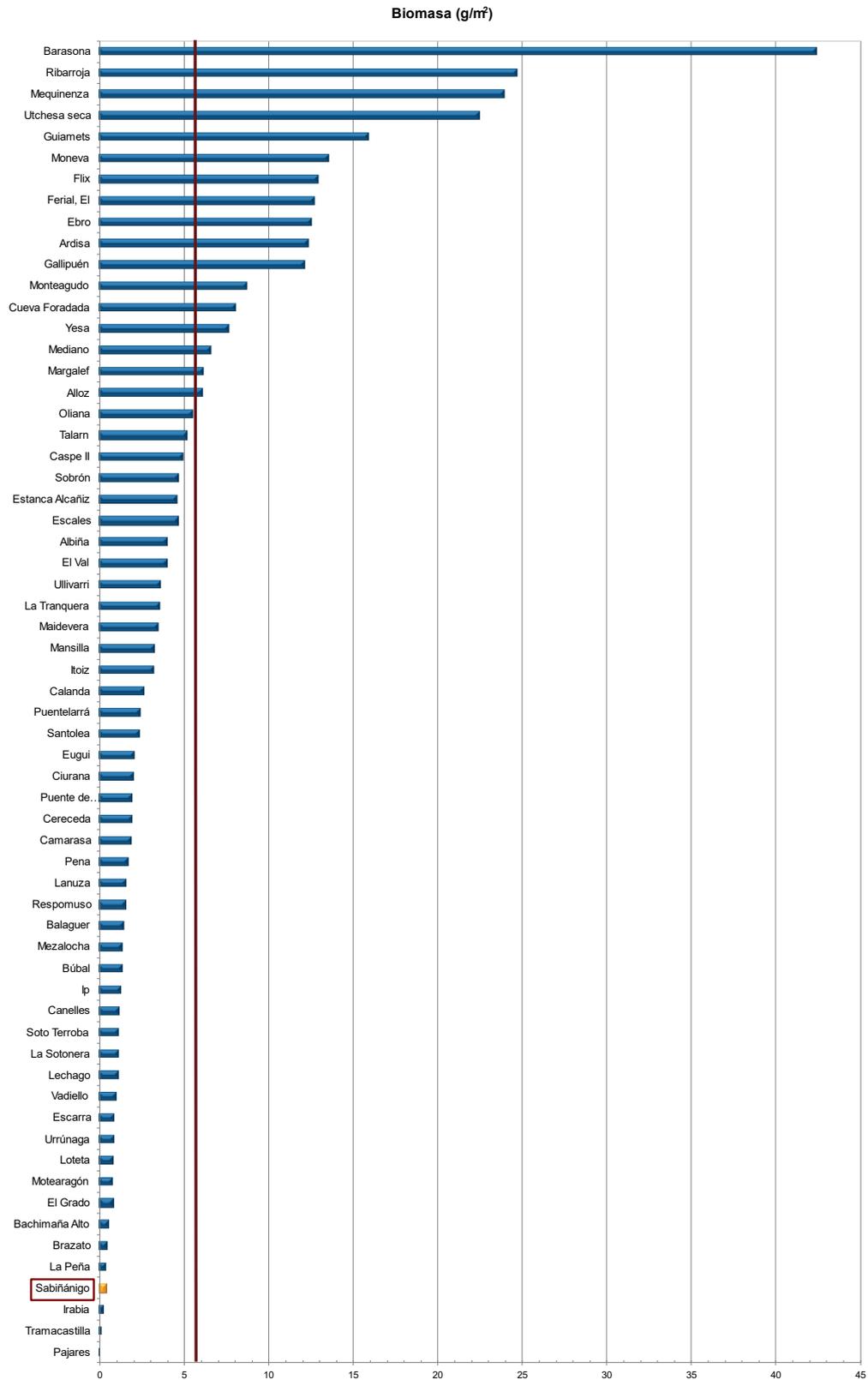


**Figura 17.** Celdas de análisis de hidrocústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

#### 4.3.2. 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 Sabiñánigo, en comparación con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro cuyas poblaciones de peces se han evaluado con técnicas hidrocústicas de calidad científica 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 bajo en el contexto de los embalses estudiados en la cuenca del Ebro.



**Figura 18.** Comparación de la biomasa con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro

#### 4.4. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

Para alcanzar una estimación de densidad y biomasa por especies (Tabla 11), es necesario aplicar la proporción entre especies obtenida mediante muestreo directo a las densidades y biomásas obtenidas mediante acústica.

**Tabla 11.** Densidades (ind/dam<sup>3</sup>) y biomásas (g/m<sup>2</sup>) por especie

	Densidad media (ind/dam <sup>3</sup> )	Abundancia (%)	Abundancia Total (ind)	Biomasa media (g/m <sup>2</sup> )	Biomasa (%)	Peso total (kg)
<i>Parachondrostoma miegii</i>	1,54	45%	1.618	0,35	90%	11
<i>Salmo trutta fario</i>	0,0003	0,000	0,276	0,002	0,004	0
<i>Phoxinus phoxinus</i>	1,86	55%	1.955	0,04	9%	1
<b>Total</b>	3,40	100%	3.574	0,38	100%	12
Intervalo de Confianza (I.C)	0,99	/	1.044	0,11	/	4

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  $3.574 \pm 1.044$  peces con una biomasa de  $12 \pm 4$  kilogramos.

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.

Además, en este caso las pescas en zonas muy someras y cubiertas de vegetación en las que podría haber altas densidades de piscardos y a las que la técnica hidroacústica no alcanza, quedan fuera de las estimaciones cuantitativas.

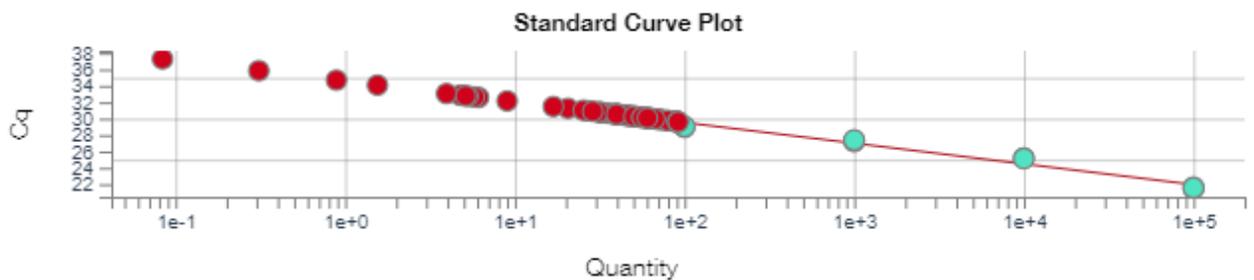
## 4.5. MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL

### 4.5.1. Muestras ambientales de agua

El proceso de filtración de las muestras de agua, así como el de extracción del ADN ambiental se completó sin incidencias. Todas las muestras ambientales del agua del embalse de Sabiñánigo pasaron los controles de calidad.

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

Se ha utilizado un método específico de alta resolución basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de trucha común en agua, con el que se ha detectado ADN de trucha común en las muestras del embalse de Sabiñánigo. Se obtuvo una recta patrón con un buen grado de ajuste ( $R^2=0,91$ ).



**Figura 19.** Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN. En azul la curva de calibración y en rojo las muestras.

**Tabla 12.** Concentración de *Salmo trutta* detectada en el embalse de Sabiñánigo

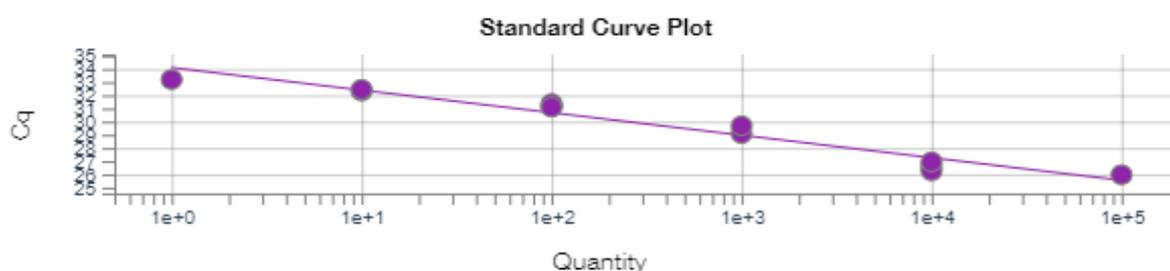
Código	Copias ADN
SAB_23_S1_E1_S	27,91
SAB_23_S1_E1_M	<LD
SAB_23_S1_E1_F	16,16
SAB_23_S1_BEN_1_1	13,30
SAB_23_S1_BEN_1_2	15,67
SAB_23_S1_BEN_1_3	20,41
SAB_23_S1_PES_1_1	17,89
SAB_23_S1_PES_1_2	17,99
SAB_23_S1_PES_1_3	19,02

Mediante este método específico de alta sensibilidad basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de trucha común en agua, se ha podido confirmar

la presencia de trucha común en el embalse de Sabiñánigo. Este resultado refrenda la detección de la especie con el muestreo directo, y permite inferir que la densidad de esta especie es superior a la que se desprende de estos muestreos.

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

Se ha utilizado un método específico de alta resolución basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de anguila europea en agua, con el que se obtuvo una recta patrón con un buen grado de ajuste ( $R^2=0,949$ ). Todas las muestras resultaron negativas en ADN ambiental de anguila europea en el embalse de Sabiñánigo.



**Figura 20.** 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 demostrar la presencia de anguila en el embalse de Sabiñánigo.

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. Se concluye, con un alto grado de confianza, que 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.

Como se ha apuntado en el apartado de metodología, se ha aplicado el QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*) en una versión todavía experimental. Según esta metodología, la calidad del embalse según los peces sería "Óptimo". En la Tabla 13 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de Sabiñánigo.

**Tabla 13.** Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Sabiñánigo

Métrica	Embalse
	SAB23
LOG_BIO	3,58
LOG_BIO_native	3,58
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_ciprin_native	3,58
<b>QFBI</b>	<b>-1,45</b>
<b>Calidad</b>	<b>Óptimo</b>

Este resultado se explica por la combinación de valores bajos de biomasa y la dominancia de especies autóctonas en la demarcación.

## 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 tres especies capturadas en los muestreos realizados en el embalse de Sabiñánigo mediante redes agalleras son autóctonas en la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Madrilla (*Parachondrostoma miegii*), trucha común (*Salmo trutta*) y piscardo (*Phoxinus phoxinus*).

Mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) se ha detectado ADN de trucha común (*Salmo trutta*) en ocho de las nueve muestras tomadas, pese a haberse capturado solamente un ejemplar con las técnicas de muestreo directo. La concentración es baja pero la señal está en toda la masa de agua, lo que permite concluir que la especie utiliza el conjunto del embalse con fines de alimentación. En el caso de la anguila (*Anguilla anguilla*) los resultados son negativos.

Se concluye en consecuencia que en este embalse se presentan tres (3) especies de peces, todas ellas autóctonas en la DHE.

La asociación de peces está dominada en términos de densidad por el piscardo (55%), pero la madrilla presenta unos efectivos de similar magnitud (45%). La trucha común, que actuaría como especie depredadora, presenta una densidad inapreciable según las pescas obtenidas, aunque al no disponer de datos de acústica con orientación vertical del haz, no es posible completar ese dato. A juzgar por la información obtenida en los análisis de eDNA, la densidad de esta especie es superior a la estimada solamente con las pescas, pero en todo caso sigue siendo baja. Sin embargo, en cuanto a la biomasa, la madrilla aporta el 90% del total y esta especie detritívora es por tanto la dominante.

La densidad media de peces, a partir de la interpolación de celdas de análisis de 50 m de longitud, es de  $3,4 \pm 0,98$  ind/dam<sup>3</sup>, que es un valor moderado, debido a la ausencia de especies formadoras de bancos densos. La biomasa de peces obtenida en el embalse es, sin embargo,



muy baja ( $0,38 \pm 0,11 \text{ g/m}^2$ ) o, lo que es lo mismo,  $3,8 \text{ kg/ha}$  y representa un valor propio de un sistema oligotrófico.

Debido a la ausencia de especies alóctonas y a la moderada biomasa de peces, el índice de calidad QFBI ofrece en el embalse de Sabiñánigo un valor “Óptimo”.

A pesar de ser somero, se trata de un embalse de baja productividad y alta renovación hidráulica, lo que limita el desarrollo de poblaciones abundantes de peces. Por otro lado, presenta formaciones densas de macrófitos acuáticos y zonas de sedimentos finos con materia orgánica, y esto que genera condiciones de hábitat adecuadas para el crecimiento de la madrilla.

La ictiocenosis de este embalse presenta un buen grado de conservación, sin especies exóticas e invasoras y con valores moderados de biomasa, por lo que la recomendación que cabría hacer es vigilar activamente la entrada de especies alóctonas para facilitar su detección precoz y, por tanto, su control efectivo. La forma más eficiente de hacer este tipo de vigilancia es recurriendo al eDNA, en concreto al “metabarcoding”, que permite detectar la presencia incipiente de múltiples especies en una sola muestra, sin afectar en el muestreo a las poblaciones residentes de especies autóctonas.

## 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 14011:2003 - *Water quality - Sampling of fish with electricity*

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

CEN EN 14757:2015 - *Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets.*

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

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



## ANEXO 1. ESPECIES PRESENTES

---

Nombre común

## Madrilla

Nombre científico

*Parachondrostoma miegii*

Sinónimo

*Chondrostoma miegii*

Orden

Cypriniformes

Familia

Leuciscidae

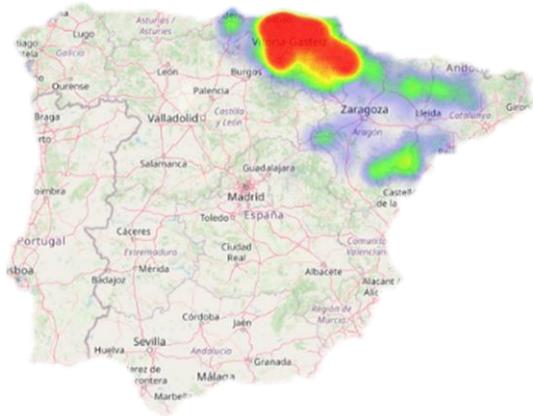


Ilustración 1.- Distribución madrilla. Fuente: SIBIC

Autóctono, endemismo ibérico. Se distribuye por las cuencas cantábricas de los ríos Bidasoa, Urumea, Oria, Urola, Deva, Artibay, Oca, Butrón, Nervión, Agüera, Asón y Pas, y por las cuencas mediterráneas de los ríos Llobregat, Ebro, Riudecanyes y Cenia. También aparece en afluentes del alto Tajo. La población en la cuenca del río Besaya es alóctona debido a un trasvase desde el Ebro.

Es una especie catalogada como no amenazada y presente en el Anexo II de la Directiva Hábitats. Sus principales amenazas son la introducción de especies alóctonas depredadoras, la contaminación, la construcción de presas y canalizaciones, así como operaciones de extracción de áridos.



Ilustración 2.- Ejemplar de madrilla. Fuente: SIBIC

Especie que alcanza hasta los 30 cm longitud, cuerpo alargado con la cabeza pequeña y boca situada en la parte inferior. El labio inferior presenta una lámina córnea de forma arqueada que le permite raspar las piedras del fondo para su alimentación. Aleta dorsal y anal con el margen cóncavo. Especie endémica de la península, de hábitos gregarios en tramos medios y bajos de ríos o embalses. En regresión en el Ebro. Se reproduce en fondos de piedra o grava entre los meses de abril y junio. Su longevidad es de aproximadamente 7 años.



Ilustración 3.- Ejemplar de madrilla. Fuente: elaboración propia

Nombre común

## Piscardo

Nombre científico

*Phoxinus phoxinus*

Sinónimo

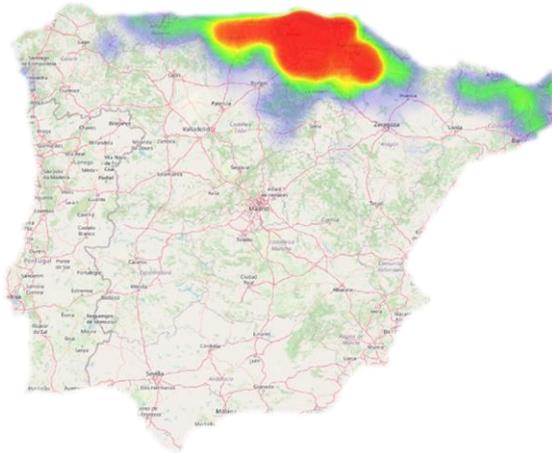
*Phoxinus phoxinus*

Orden

Cypriniformes

Familia

Leuciscidae



Autóctono, endemismo de la Península Ibérica y Suroeste de Francia. Su área de distribución natural se localiza en la cuenca del río Adour en el Suroeste francés y en las cuencas ibéricas del Ebro y del Norte peninsular siendo más abundante en la cordillera cantábrica encontrándose desde el Bidasoa en el Este hasta el Esva en el Oeste. En las cuencas mediterráneas llega por el Norte hasta el río Muga. Se ha introducido en la cuenca del Duero por su uso como cebo vivo para la pesca.

Ilustración 1.- Distribución piscardo. Fuente: SIBIC

Se cataloga como una especie Vulnerable. Sus principales amenazas son la introducción de especies alóctonas depredadoras y las repoblaciones de trucha común, que aumentan su densidad por encima de la capacidad de carga de los ecosistemas fluviales; la construcción de presas y canalizaciones y la contaminación. En las cuencas ibéricas fuera de su distribución natural debería controlarse su abundancia.



Ilustración 2.- Ejemplar de piscardo. Fuente: SIBIC

Especie que alcanza hasta los 14 cm de longitud, de cuerpo alargado casi cilíndrico, comprimido lateralmente en la cola. Mandíbula inferior más corta que la superior. Coloración oscura en el dorso y clara en el vientre. Aletas cortas, siendo las pélvicas más avanzadas que la dorsal. Durante la época de reproducción, los machos presentan tubérculos nupciales y la base de las aletas se tiñe de rojo. Viven en ríos y lagos de montaña y embalses. Son gregarios y se alimentan de invertebrados. Ponen la freza en zonas de gravas y piedras entre los meses de abril y junio. Su longevidad es aproximadamente de 5 años.



Ilustración 3.- Ejemplares de picardo. Fuente: elaboración propia

Nombre común

# Trucha común

Nombre científico

*Salmo trutta*

Orden

Salmoniformes

Familia

Salmonidae

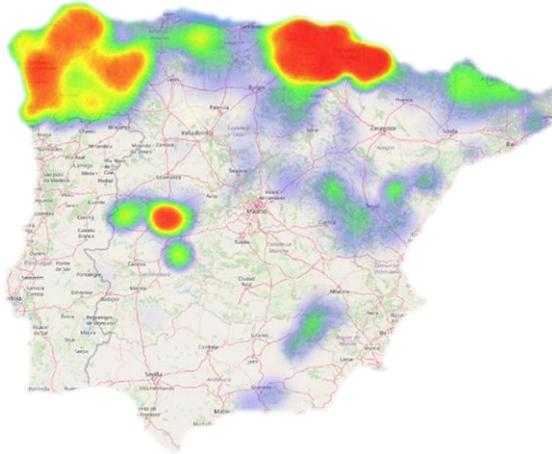


Ilustración 1. Distribución trucha. Fuente: SIBIC

Autóctono. Su área de distribución natural es Paleártica, desde el Atlántico Noreste hasta el Oeste de Asia, incluyendo las cuencas Europeas y los mares Báltico, Norte, Mediterráneo, Negro y Caspio. Ampliamente introducida en todo el mundo para la pesca deportiva. En la península ibérica se distribuye principalmente por las cabeceras de las cuencas cantábricas, catalanas, Galicia, Duero, Tajo, Guadalquivir, Segura, Júcar y Ebro. Los reos (truchas anádromas) se encuentran en cuencas cantábricas y gallegas, llegando hasta el río Lima (Portugal) como límite Sur.

Se cataloga como especie Vulnerable. Sus principales amenazas son la sobrepesca en ríos, la introgresión genética por parte de individuos introducidos alóctonos a las poblaciones ibéricas, la contaminación de las aguas, la extracción de áridos, la construcción de presas que impiden la migración y la introducción de depredadores alóctonos como el lucio.



Ilustración 2. Ilustración de trucha. Fuente: SIBIC

Especie que alcanza hasta los 60 cm de longitud y 10 kg de peso. Coloración variable, con manchas negras y rojas oceladas que no se extienden por la aleta caudal (a diferencia de la trucha arcoíris). Habita aguas frías de cabeceras de ríos y lagos y embalses de montaña, tolerando poco la baja concentración de oxígeno. Se alimentan de invertebrados. Se reproducen típicamente de octubre a enero en tramos con corriente, frezando en zonas de grava. Su longevidad es aproximadamente de 15 años.



Ilustración 3.- Ejemplar de trucha. Fuente: elaboración propia



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y RETO DEMOGRÁFICO



## ANEXO 2. RESULTADOS DE LAS PESCAS

---



**FICHA DE PESCA**

**DATOS DE LA RED**

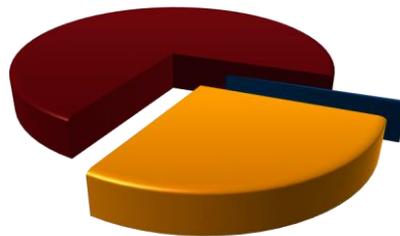
SISTEMA	Sabiñánigo	CÓDIGO DE RED	SAB23_S1BEN1
UTM-X	717402	UTM-Y	4709966
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H30
INICIO	24-7-23 19:15	FIN	25-7-23 9:15
PROFUNDIDAD	2	PROFUNDIDAD DE LA RED	1
RIQUEZA ESPECIES	3	ESFUERZO APLICADO	1,6

**RESUMEN DE LAS PESCAS**

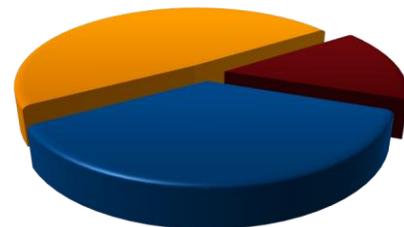
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Trucha común	1	0,64	0%	994	639,00	36%
Madrilla	56	36,00	27%	1344	864,26	49%
Piscardo	147	94,50	72%	415	266,79	15%
<b>Total</b>	<b>204</b>	<b>131,14</b>	<b>100%</b>	<b>2753</b>	<b>1.770,04</b>	<b>100%</b>

**CPUE**

- Trucha común
- Madrilla
- Piscardo



**BPUE**



**RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA**

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Número Ind
Trucha común	<i>Salmo trutta fario</i>	492	994,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	166	69,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	125	25,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	110	16,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	96	9,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	185	86,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	116	21,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	124	24,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	140	28,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	167	58,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	146	43,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	124	27,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	143	33,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	158	52,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	197	108,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	135	34,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	129	25,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	125	24,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	160	61,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	125	28,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	131	29,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	140	34,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	112	21,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	165	51,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	132	24,8	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	135	34,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	113	17,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	118	21,0	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	135	34,6	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	119	21,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	106	14,4	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	114	20,2	1
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	75	5,4	1









### FICHA DE PESCA

#### DATOS DE LA RED

SISTEMA	Sabiñánigo	CÓDIGO DE RED	SAB23_S1BEN2
UTM-X	717880	UTM-Y	4710206
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H30
INICIO	24-7-23 19:30	FIN	25-7-23 9:45
PROFUNDIDAD	2	PROFUNDIDAD DE LA RED	1
RIQUEZA ESPECIES	2	ESFUERZO APLICADO	1,6

#### RESUMEN DE LAS PESCAS

ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Madrilla	1	0,63	5%	35	22,36	28%
Piscardo	19	12,00	95%	92	58,11	72%
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>12,63</b>	<b>100%</b>	<b>127</b>	<b>80,46</b>	<b>100%</b>

#### CPUE



#### BPUE



#### RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Número Ind
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	135	35,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	74	5,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	67	3,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	61	3,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	76	7,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	61	3,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	66	3,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	6,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	51	1,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	78	7,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	80	8,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	50	1,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	74	6,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	48	1,0	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	58	1,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	5,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	78	6,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	79	8,0	1



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA PESCA						
SISTEMA	Sabiánigo		CÓDIGO		SAB23_S1PES1	
UMT-X	717.653		UTM-Y		4.710.061	
RIQUEZA ESPECIES	0		Distancia (m)		289,0	
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	-
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO		L. furcal (mm)	Peso (g)	Número Ind	
Sin peces						



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA PESCA						
SISTEMA	Sabiánigo		CÓDIGO		SAB23_S1PES2	
UMT-X	717.886		UTM-Y		4.710.263	
RIQUEZA ESPECIES	0		Distancia (m)		165,0	
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
-	-	-	-	-	-	-
<b>Total</b>	-	-	-	-	-	-
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO		L. furcal (mm)	Peso (g)	Número Ind	
Sin peces						



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y RETO DEMOGRÁFICO



## ANEXO 3. CELDAS DEL MUESTREO HIDROACÚSTICO

---



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD ( ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	1	717358,4	4709941,0	0	0
1	1	717356,9	4709943,9	0,34	0,04
1	2	717368,7	4709962,1	2,88	0,33
1	3	717413,6	4709960,9	0	0
1	4	717455,8	4709985,2	0,01	0
1	5	717500,4	4710008,2	0	0
1	6	717548,6	4710022,0	18,75	2,12
1	7	717590,0	4710047,9	0	0
1	8	717633,2	4710072,5	0	0
1	9	717680,8	4710086,3	4,19	0,47
1	10	717764,1	4710099,5	1,35	0,15
1	11	717803,5	4710128,8	35,23	3,99
1	12	717831,2	4710169,1	0,1	0,01
1	13	717847,8	4710174,7	0,61	0,07
1	14	717810,4	4710144,7	1,59	0,18
1	15	717776,7	4710110,5	2,52	0,29
1	16	717730,7	4710091,3	4,36	0,49
1	17	717683,9	4710079,2	6,06	0,69
1	18	717639,8	4710055,8	0,12	0,01
1	19	717590,4	4710048,7	2,87	0,32
1	20	717543,9	4710033,3	2,5	0,28
1	21	717496,7	4710016,1	11,06	1,25
1	22	717454,1	4709991,9	0	0
1	23	717407,1	4709976,4	0	0
1	24	717364,8	4709950,1	0,54	0,06
1	25	717321,9	4709924,6	1,48	0,17
1	26	717310,3	4709905,6	2,83	0,32
1	27	717329,9	4709947,3	2,42	0,27
1	28	717378,0	4709948,8	0	0
1	29	717416,8	4709975,9	2,62	0,3
1	30	717461,1	4709997,6	0	0
1	31	717508,9	4710008,4	1,22	0,14
1	32	717554,8	4710023,4	0	0
1	33	717596,6	4710048,9	2,07	0,23
1	34	717625,7	4710064,2	0,82	0,09
1	35	717673,0	4710079,7	9,01	1,02
1	36	717721,1	4710092,2	3,47	0,39
1	37	717768,7	4710105,2	2	0,23
1	38	717809,4	4710132,3	3,89	0,44
1	39	717837,6	4710172,2	4,36	0,49
1	40	717825,9	4710155,7	8,94	1,01
1	41	717793,3	4710126,3	8,09	0,92
1	42	717752,7	4710105,5	2,11	0,24
1	43	717708,2	4710083,8	2,16	0,24
1	44	717660,2	4710071,7	0,21	0,02



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y RETO DEMOGRÁFICO



## 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>	Sabiñánigo	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### Filtración de muestras de agua

Técnico:	Karen Freijanes Presmanes
Almacenaje:	Filtradas en campo
Incidencias:	No

Muestras filtradas				
Código	Numeración	Volumen (L)	Nº filtros	Fecha
SAB_23_S1_E1_S	64	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_E1_M	65	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_E1_F	66	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_BEN_1_1	67	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_BEN_1_2	68	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_BEN_1_3	69	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_PES_1_1	70	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_PES_1_2	71	1	2	26/07/2023
SAB_23_S1_PES_1_3	72	1	2	26/07/2023

### Recepción de muestras en el laboratorio

Fecha:	29/08/2023
Técnico:	Susana Deus Álvarez
Nº Muestras:	9
Estado de las muestras:	En eppendorf con alcohol 100%
Almacenaje:	Congelación

Código	Numeración	Chequeo
SAB_23_S1_E1_S	64	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_E1_M	65	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_E1_F	66	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_BEN_1_1	67	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_BEN_1_2	68	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_BEN_1_3	69	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_PES_1_1	70	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_PES_1_2	71	<input checked="" type="checkbox"/>
SAB_23_S1_PES_1_3	72	<input checked="" type="checkbox"/>
		<input 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>	Sabiánigo	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

#### Extracción de ADN

Fecha:	21/09/2023
Técnico:	Susana Deus Álvarez
Método de extracción:	DNeasy Blood & Tissue Kit
Número de muestras:	9
Incidencias:	No

#### Muestras extraídas

Código	ADN (ng/μL)	Volumen (mL)	ADN (ng/μL)	Volumen (mL)
SAB_23_S1_E1_S	0,408	100	0,845	60
SAB_23_S1_E1_M	0,684	100	0,691	60
SAB_23_S1_E1_F	0,705	100	0,419	60
SAB_23_S1_BEN_1_1	0,198	100	0,317	60
SAB_23_S1_BEN_1_2	0,319	100	0,324	60
SAB_23_S1_BEN_1_3	0,407	100	0,521	60
SAB_23_S1_PES_1_1	0,192	100	0,194	60
SAB_23_S1_PES_1_2	0,209	100	0,141	60
SAB_23_S1_PES_1_3	0,567	100	0,701	60

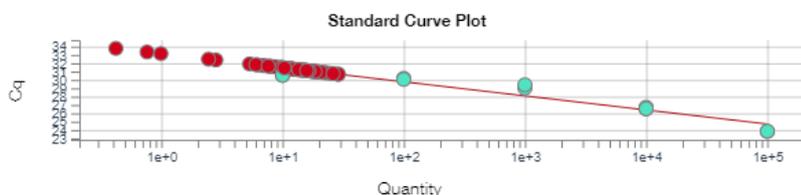
□

#### Detección por qPCR

Técnico:	Susana Deus Álvarez
Incidencias:	No

#### Salmo trutta

qPCR	
Máquina PCR:	Quantum studio 3
R2:	0,91
Recta - Pendiente:	-1,686
Recta - Intercepto	33,148
Conservación:	Congelación



#### Resultados

Código	Detección	Copias ADN
SAB_23_S1_E1_S	+	27,91
SAB_23_S1_E1_M	-	
SAB_23_S1_E1_F	+	16,16
SAB_23_S1_BEN_1_1	+	13,30
SAB_23_S1_BEN_1_2	+	15,67
SAB_23_S1_BEN_1_3	+	20,41
SAB_23_S1_PES_1_1	+	17,89
SAB_23_S1_PES_1_2	+	17,99
SAB_23_S1_PES_1_3	+	19,02
Control negativo PCR	-	

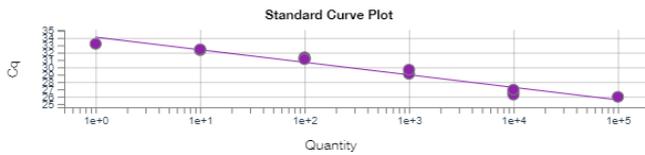
#### Conclusión

Se ha detectado la presencia de *Salmo trutta* en ocho de las nueve 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>	Sabiñánigo	
<b>Código de proyecto:</b>	EC20012	

### Anguilla anguilla

qPCR	
Máquina PCR:	Quantum studio 3
R2:	0,949
Recta - Pendiente:	-1,711
Recta - Intercepto	34,103
Conservación:	congelación



Resultados	
Código	Detección
SAB_23_S1_E1_S	-
SAB_23_S1_E1_M	-
SAB_23_S1_E1_F	-
SAB_23_S1_BEN_1_1	-
SAB_23_S1_BEN_1_2	-
SAB_23_S1_BEN_1_3	-
SAB_23_S1_PES_1_1	-
SAB_23_S1_PES_1_2	-
SAB_23_S1_PES_1_3	-
Control negativo PCR	-

### Conclusión

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