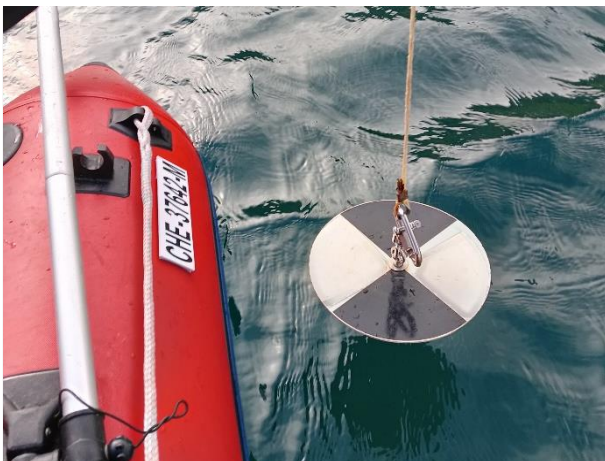




SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: IBÓN RECRECIDO DE BRAZATO



SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSE DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: IBÓN RECRECIDO DE BRAZATO

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:

2022/23

FECHA ENTREGA:

MARZO 2023



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Vista panorámica desde la presa del Ibón recrecido de Brazato.

Superior derecha: Embarcación y equipos de hidroacústica

Inferior izquierda: Medición de la transparencia del agua con disco de Secchi

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

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2023) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Ibón recrecido de Brazato 61 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: IBÓN RECRECIDO DE BRAZATO. AÑO 2022

El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces del Ibón recrecido de Brazato. 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 99,8 %. En términos de biomasa la trucha común alcanza el 17% del total. La densidad resultante de 10,6 ind/dam³ es muy alta para un embalse de montaña, aunque la biomasa se mantiene en un rango bajo (0,54 g/m²) 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: REGROWNED IBON OF BRAZATO. YEAR 2022

The purpose of this report is to evaluate the abundance and biomass of the fish biocenosis of the reservoir Ibón recrecido de Brazato. 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 99.8%. In terms of biomass, the common trout reaches 17% of the total. The resulting density of 10.6 ind/dam³ is high for a high-altitude reservoir, although the biomass remains in a low range (0.54 g/m²) 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

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	10
1.1. PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS	10
1.2. INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES.....	11
2. ÁMBITO DE ESTUDIO.....	13
2.1. SITUACIÓN.....	13
2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	14
2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES	16
2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO	18
3. METODOLOGÍA.....	19
3.1. DISEÑO DEL MUESTREO.....	20
3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA	21
3.2.1. Prospección hidroacústica.....	21
3.2.2. Procesado de datos acústicos.....	22
3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA.....	24
3.3.1. Redes agalleras multipaño	24
3.3.2. Pesca eléctrica desde orilla.....	25
3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES	26
3.5. EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI.....	27
3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL.....	28
3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)	28
3.6.2. Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua	29
3.6.3. Detección específica de trucha común.....	30
3.6.4. Detección específica de anguila europea.....	30
3.6.5. Estimaciones de biomasa.....	31
4. RESULTADOS	32
4.1. BATIMETRÍA	32
4.2. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES.....	35



4.2.1.	<i>Distribución y estimación de la densidad de peces.....</i>	37
4.2.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....</i>	40
4.3.	MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA.....	42
4.3.1.	<i>Especies presentes en el embalse.....</i>	43
4.3.2.	<i>Composición y distribución de especies.....</i>	44
4.4.	BIOMASA.....	46
4.4.1.	<i>Distribución y estimación de la biomasa de peces.....</i>	46
4.4.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....</i>	48
4.5.	DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES.....	50
4.6.	MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL.....	51
4.6.1.	<i>Muestras ambientales de agua.....</i>	51
4.6.2.	<i>Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa.....</i>	51
4.6.3.	<i>Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa.....</i>	52
5.	VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI.....	54
6.	CONCLUSIONES.....	56
7.	GLOSARIO Y ACRÓNIMOS.....	58
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	60

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 Ibón recrecido de Brazato.....	16
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.	24
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	28
Tabla 5. Valores de diferentes índices morfométricos en el Ibón recrecido de Brazato a partir del nuevo MDT	33
Tabla 6. Densidad de peces (ind/dam ³) por estratos, estimada mediante acústica	37
Tabla 7. Especies presentes en el embalse.....	43
Tabla 8. Ejemplos de las redes utilizadas durante los muestreos directos en Ibón recrecido de Brazato .	44
Tabla 9. Resultados de las pescas con red por especies	44
Tabla 10. Recorridos de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos en el Ibón recrecido de Brazato.	45
Tabla 11. Resultados de la pesca eléctrica por especies	45
Tabla 12. Biomasa de peces por estratos (g/m ²) estimada mediante acústica	46
Tabla 13. Densidades (ind/dam ³) y biomásas (g/m ²) por especie	50
Tabla 14. Concentración de salmo trutta fario en las muestras del Ibón recrecido de Brazato	51
Tabla 15. Resultados del QFBI obtenidos para el Ibón recrecido de Brazato	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnicos realizando el perfil físico-químico en Brazato.....	12
Figura 2. Situación del Ibón recrecido de Brazato	13
Figura 3. Batimetría del Ibón recrecido de Brazato.....	15
Figura 4. Perfil de la presa del Ibón sobre mapa cartográfico y vuelo Lidar /Fuente: Elaboración propia.	15
Figura 5. Perfiles físico-químicos del Ibón recrecido de Brazato (BRZ22_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. Sondeo de hidroacústica en el Ibón recrecido de Brazato	22



Figura 9. Ubicación de redes bentónicas en Ibón recrecido de Brazato.....	25
Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial	26
Figura 11. Ubicación de las estaciones de muestreo directo en el Ibón recrecido de Brazato	29
Figura 12. Curva hipsométrica obtenida con el nuevo MDT del Ibón recrecido de Brazato.....	32
Figura 13. Representación del Ibón recrecido de Brazato sobre mapa topográfico. Fuente: Elaboración propia.....	34
Figura 14. Batimetría del Ibón recrecido de Brazato.....	34
Figura 15. Representación en 3D de la batimetría del Ibón recrecido de Brazato sobre mapa cartográfico. Fuente: Elaboración propia	35
Figura 16. Recorridos del sondeo hidroacústico en el Ibón recrecido de Brazato.....	36
Figura 17. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz horizontal en el Ibón recrecido de Brazato.....	36
Figura 18. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).....	39
Figura 19. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro	41
Figura 20. Fotografías de las labores de muestreo en el Ibón recrecido de Brazato	42
Figura 21. Ejemplares de <i>Phoxinus phoxinus</i> capturados en el Ibón superior de Brazato y su curva potencial de longitud/peso.	43
Figura 22. Composición de la asociación obtenida mediante redes.....	44
Figura 23. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica.....	45
Figura 24. Biomasa de peces en las celdas de análisis hidroacústico en los estratos superior -L1- (arriba) e inferior -L2- (abajo).	47
Figura 25. Comparación de la biomasa con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro	49
Figura 26. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN detectada.	51
Figura 27. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN	53

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en el Ibón recrecido de Brazato (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 del Ibón recrecido de Brazato, 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.

La adaptación y aplicación de estas técnicas a las masas de aguas continentales representa una oportunidad 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. Técnicos realizando el perfil físico-químico en el Ibón recrecido de Brazato

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. SITUACIÓN

El Ibón recrecido de Brazato (MAS 1039) es un Ibón de origen glaciar que se localiza en el Valle de Tena, en la provincia de Huesca, en el Pirineo Aragonés. Este pequeño lago recibe su aporte hídrico del deshielo de lagos glaciares circundantes y por las precipitaciones en forma de lluvia y nieve. El uso principal del agua embalsada es para el abastecimiento.

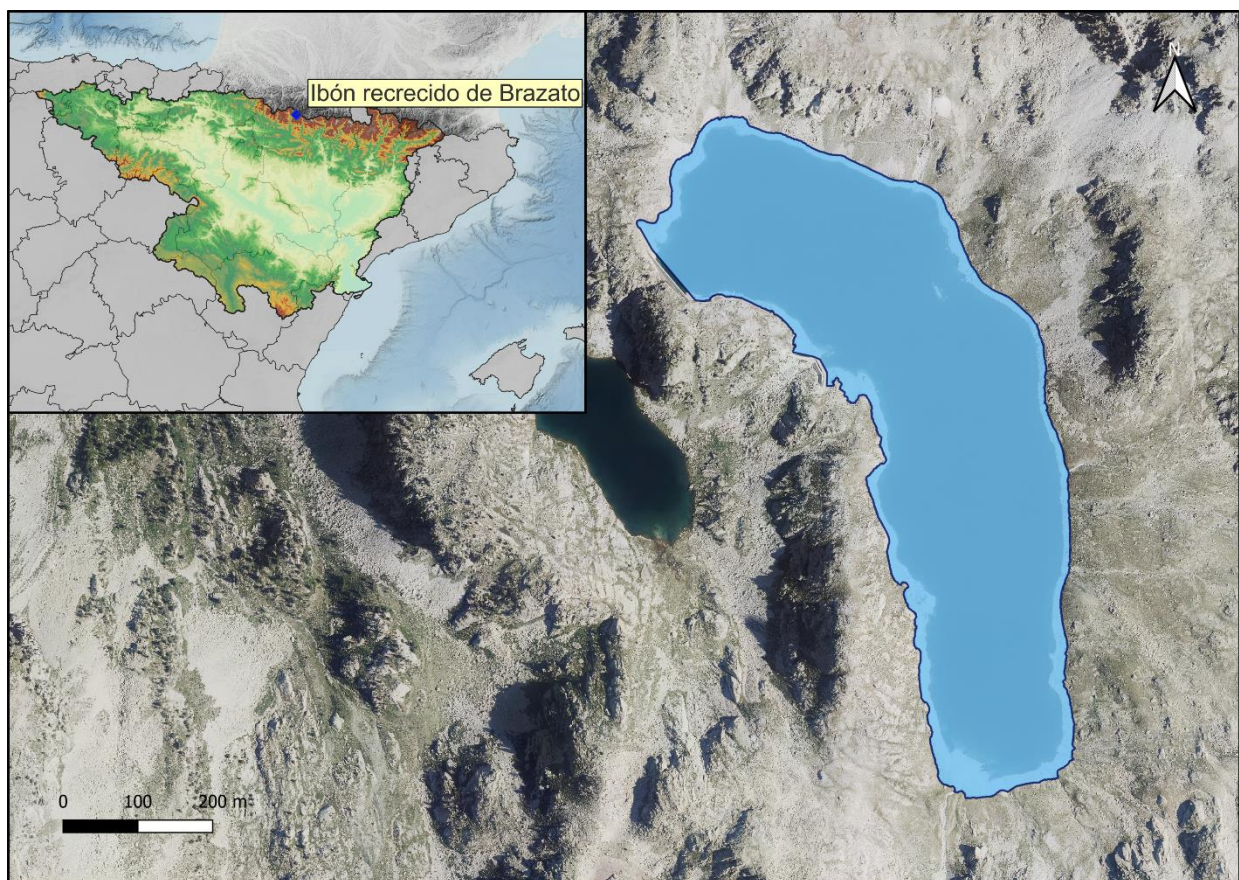


Figura 2. Situación del Ibón recrecido de Brazato

Se encuentra en el Parque Natural de los Valles Occidentales y cuenta con medidas y regulaciones para la conservación y protección de su entorno natural. El Ibón recrecido de Brazato forma parte del LIC ES2410040 de Puertos de Panticosa, Bramaturo y Brazatos.

2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Según el inventario nacional de presas y embalses, el Ibón recrecido de Brazato tiene una capacidad máxima útil de 3 hm³ y ocupa en su nivel máximo normal (NMN) una superficie de 22 ha, lo que supone una profundidad media de 14 m y máxima de 32,2 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 (30 de junio de 2022) una profundidad media de 13,7 m y máxima de 32 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 2.387,5 msnm, muy próximo al nivel máximo del embalse, que según la hipsometría generada corresponde a un volumen de 3,37 hm³ y un área de 23,3 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 en las cotas de nivel máximo normal del embalse de Ibón recrecido de Brazato que aparecen en la ficha técnica y las reales sacadas a partir de la integración de los vuelos de ortofotografía aérea con la tecnología LiDAR y los datos batimétricos de los sondeos acústicos. Según la ficha técnica la cota del NMN es 2.395,45 metros, y al realizar la comprobación con el mapa cartográfico y el modelo digital de terreno la cota del NMN es de 2.387,7 metros, lo que supone una diferencia de 7,75 metros en cota.

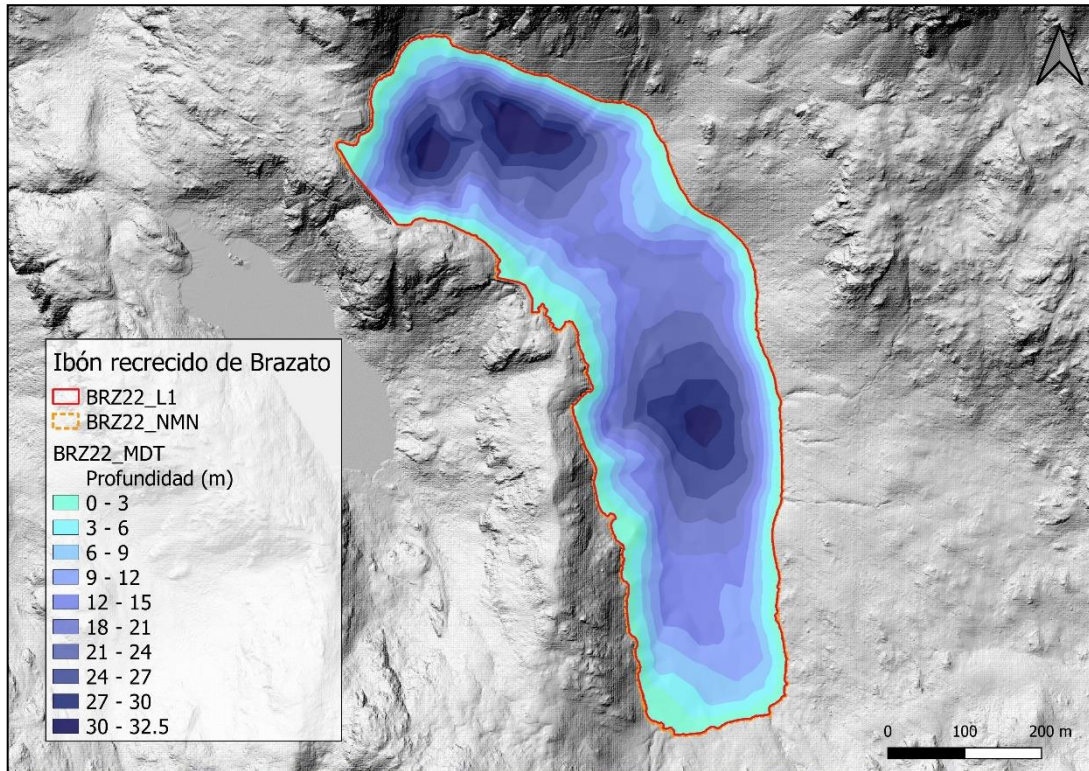


Figura 3. Batimetría del Ibón recrecido de Brazato

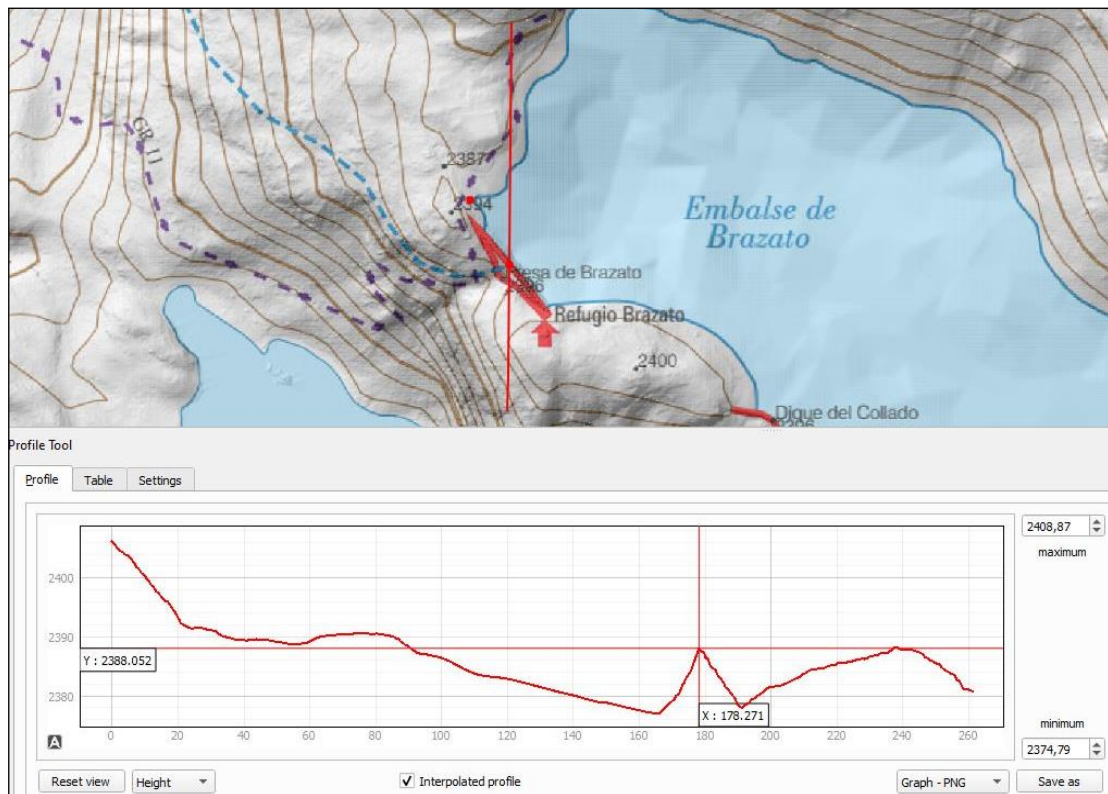


Figura 4. Perfil de la presa del Ibón sobre mapa cartográfico del IGN y vuelo Lidar /Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 1 se presentan el volumen y la superficie del estrato considerado en este caso, obtenido 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.). 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 Ibón recrecido de Brazato

Embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
BRZ22	1	1	0 a 5	1,068	23,3
		2	5 a 20	1,986	19,3
		3	20 a 32	0,321	6,2

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 (BRZ22_S1PRO1).

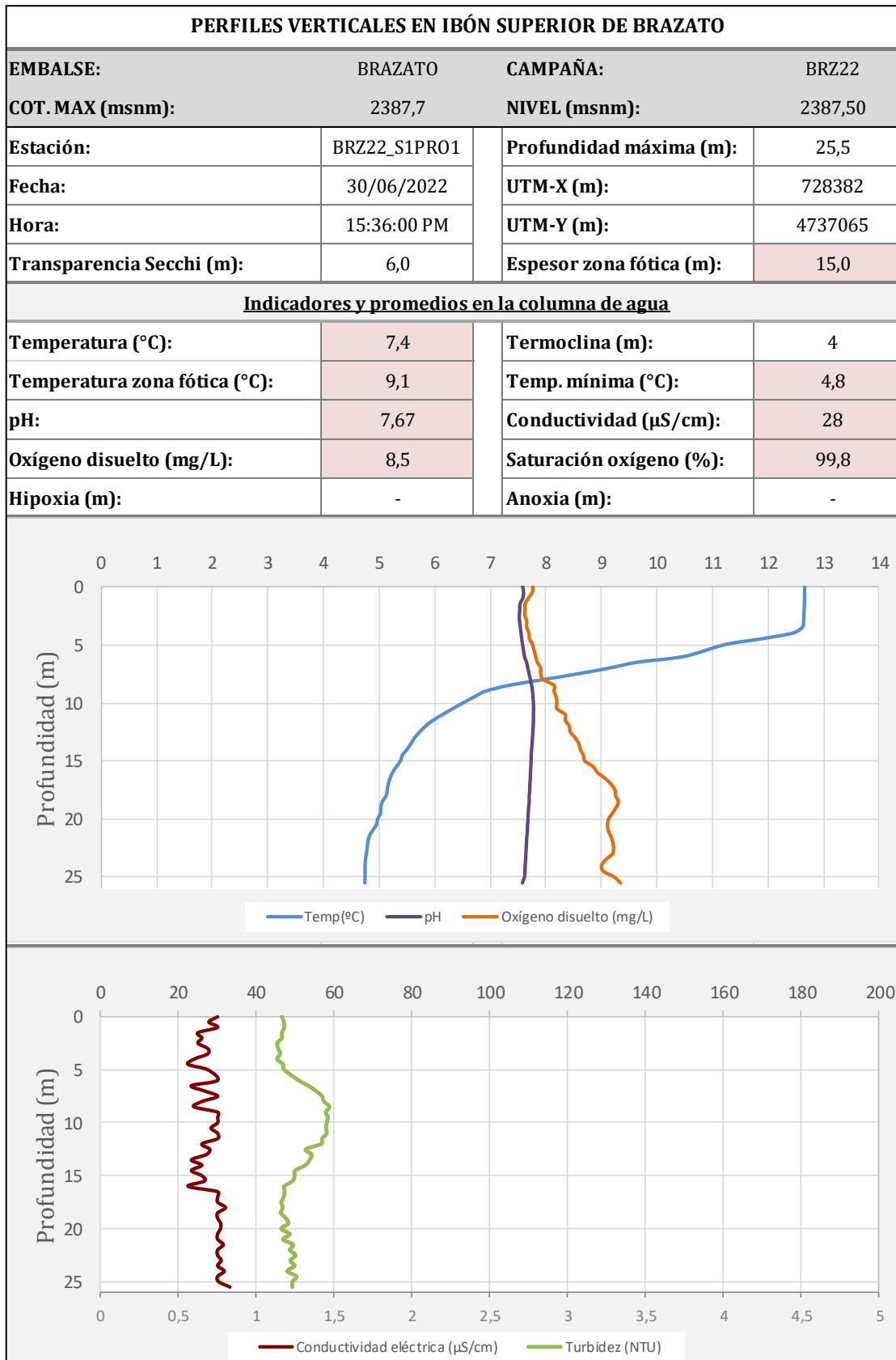


Figura 5. Perfiles físico-químicos del Ibón recrecido de Brazato (BRZ22_S1PRO1).

El muestreo se llevó a cabo en la zona del vaso principal, cerca de la presa; la profundidad máxima era de 25,5 m y se presentaba una termoclina muy pronunciada a los 4 m de profundidad y un metalimnion que llegaba hasta los 11 m de profundidad. Las condiciones de oxigenación de la columna de agua son buenas, con una concentración promedio de 8,5 mg/L.

El pH es ligeramente básico y constante con el incremento de profundidad siendo su valor promedio de 7,7 ud de pH. La transparencia del agua registrada en la lectura del disco Secchi es de 6 m lo que supone una profundidad máxima de la zona fótica de 15 m. Este espesor de la capa fótica es congruente con los valores observados de turbidez, que presenta valores bajos siempre por debajo de 1,5 NTU.

2.4. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO

El Ibón recrecido de Brazato se cataloga en el ecotipo E-T01 "Monomítico, silíceo de zonas húmedas, con temperatura media anual menor de 15°C, perteneciente a ríos de cabecera y tramos altos". 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 "Inferior a bueno" según el informe final de Seguimiento de Embalses 2021 de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE, 2021).

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

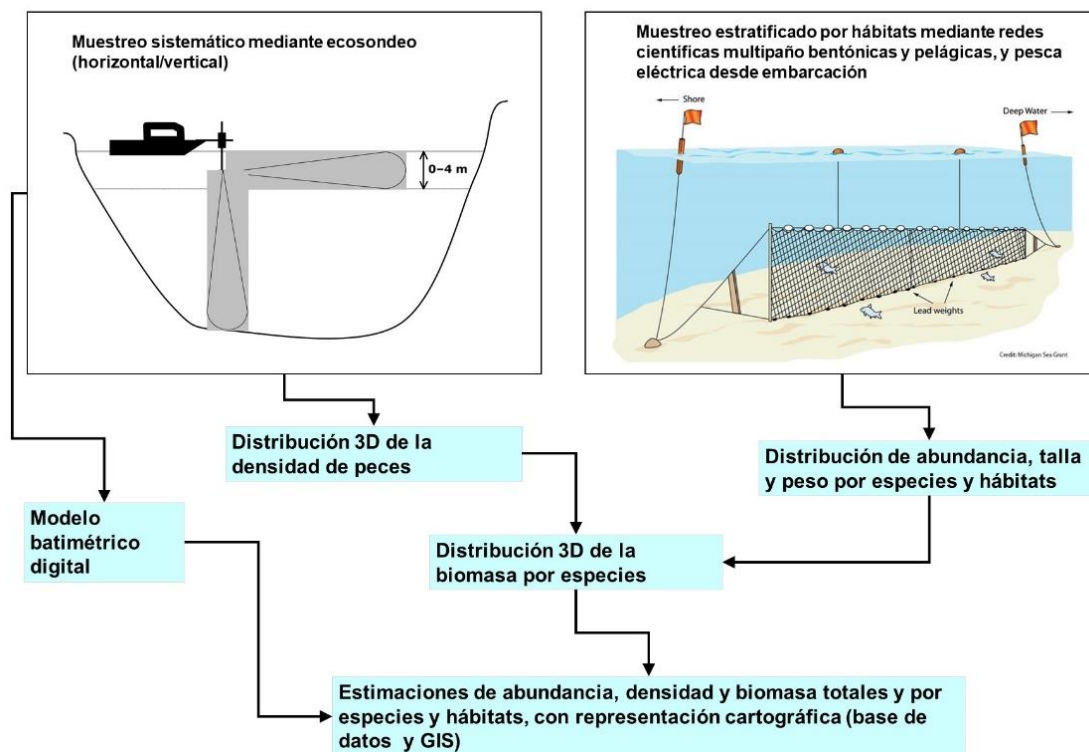


Figura 6. Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

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 biomásas 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 durante el día 30 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.

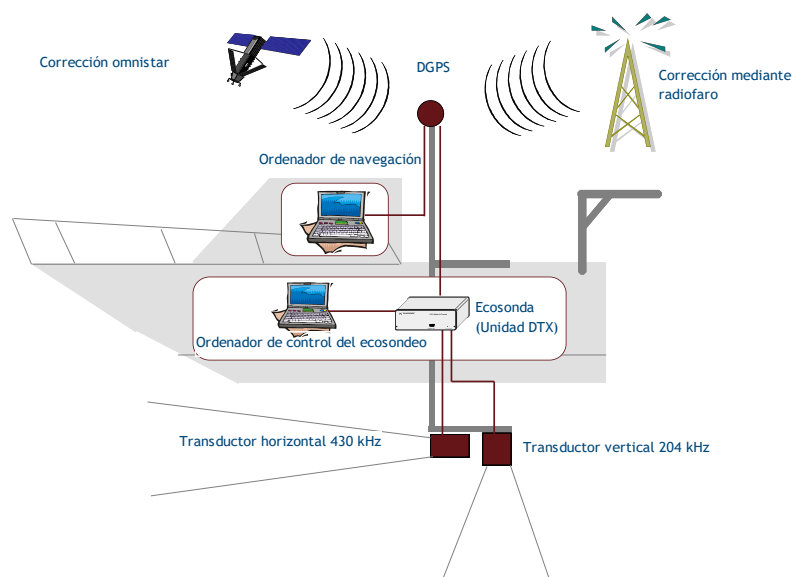


Figura 7. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico



Figura 8. Sondeo de hidroacústica en el Ibón recrecido de Brazato

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 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 10 g, es decir, se asume que todas las detecciones acústicas que superan esa talla proceden de truchas.

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 10m, 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 m²), 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 9. Ubicación de redes bentónicas en Ibón recrecido de Brazato

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, 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, que se hubo de realizar en helicóptero, los métodos y materiales para realizar 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 modelo portátil portado por un técnico, con el que se realizaron recorridos 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.

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 cubricados 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 visualizar las zonas de mayor concentración de peces.

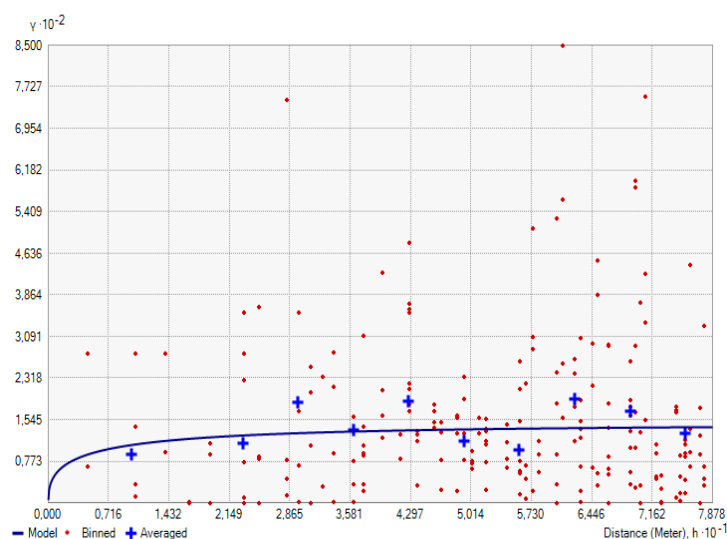


Figura 10. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

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.

Todas las muestras se tomaron justo antes de los muestreos directos realizados para este estudio. Inmediatamente fueron refrigeradas y congeladas antes de transcurridas 24 h para ser almacenadas hasta su procesado.

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.

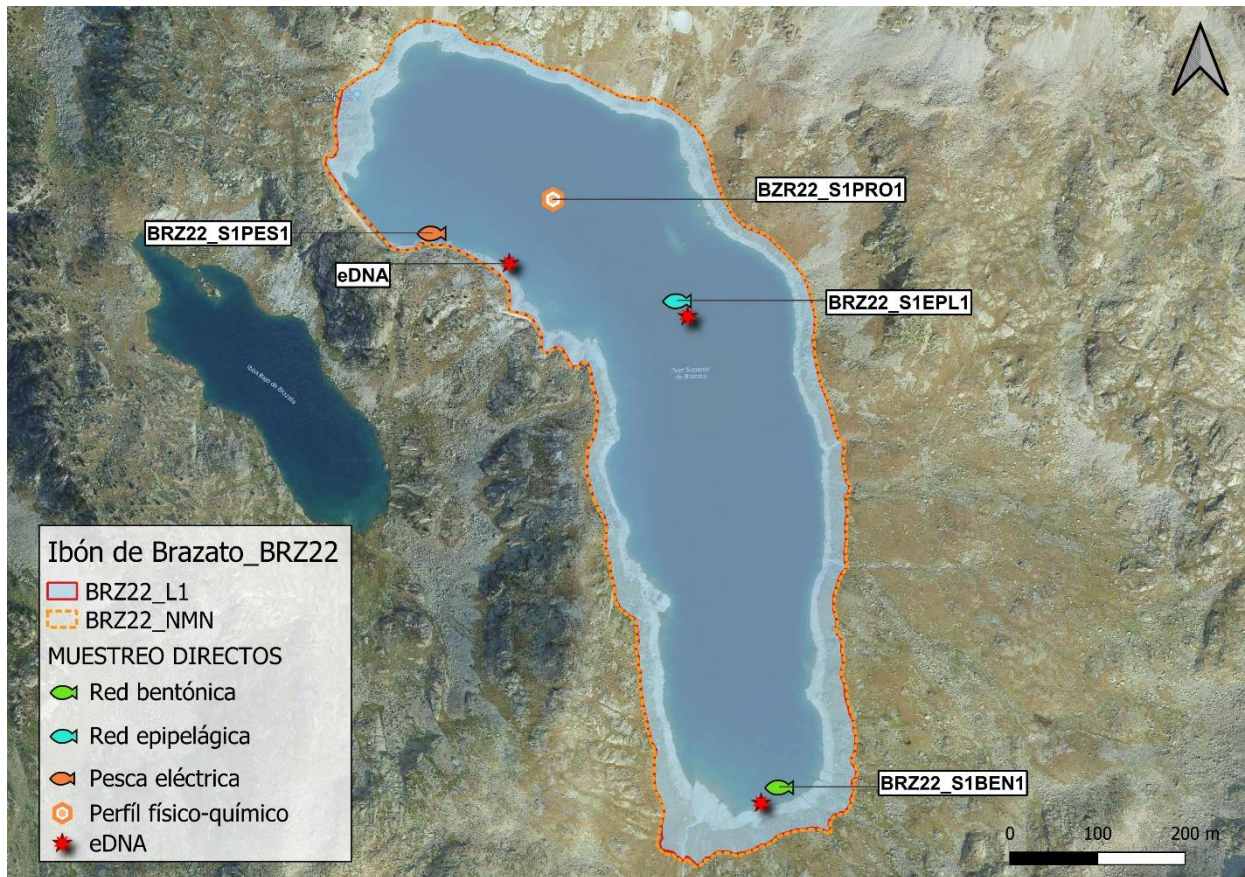


Figura 11. Ubicación de las estaciones de muestreo directo en el Ibón recrecido de Brazato

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 primers 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 recrecido de Brazato 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 2387,7 msnm, hasta la mínima cota registrada en el sondeo (2355,50 msnm). Hay que dejar constancia de que la cota nominal de NMN era la 2395,45 lo que implica una diferencia de 7,75 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).

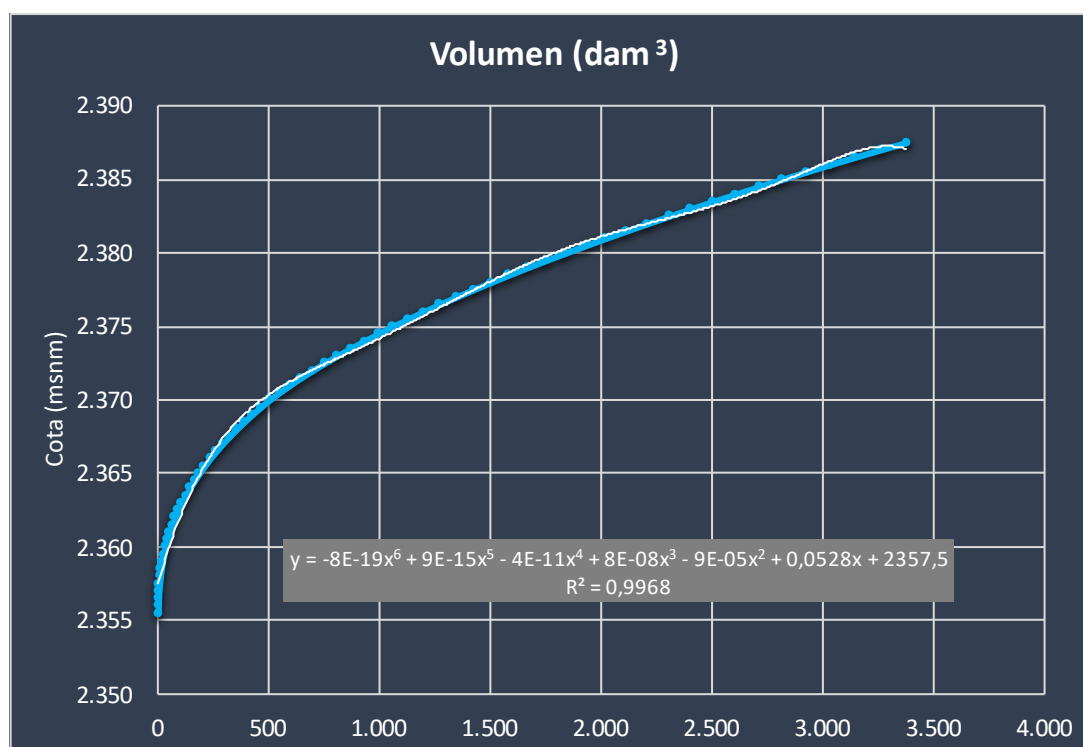


Figura 12. Curva hipsométrica obtenida con el nuevo MDT del Ibón recrecido de Brazato

La profundidad máxima en situación de máximo nivel de embalse es de 32,2 m, y durante el muestreo esa profundidad máxima fue de 32 m puesto que el embalse estaba lleno. El volumen en máximo llenado se estima en 3,42 hm³, frente a los 3 hm³ 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 glaciar, 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 glaciar típico de los Pirineos.

Tabla 5. Valores de diferentes índices morfométricos en el Ibón recrecido de Brazato a partir del nuevo MDT

Índice	Unidad	Valor
Cota NMN nominal	msnm	2.395
Cota NMN actual	msnm	2.388
Volumen NMN nominal (Vmax)	hm ³	3,000
Volumen NMN actual (Vmax_2022)	hm ³	3,422
Superficie NMN (Amax)	ha	23,41
Profundidad máxima (Zmax)	m	32,2
Profundidad media (Zm)	m	14,6
Relación Zm/Zmax		0,45
Perímetro (P)	m	3.417
Longitud máxima (L)	m	1.024
Ancho medio (W)	m	228,6
Índice de alargamiento (L/W)		4,5
Índice de desarrollo de costa (DI)		2,0

En las figuras siguientes se aprecia que el embalse mantiene la morfología original de un lago glaciar, con una cubeta plana. En la Figura 13 se representa el contorno del nivel del embalse durante el muestreo (BRZ22_L1) y el del NMN (BRZ22_NMN).

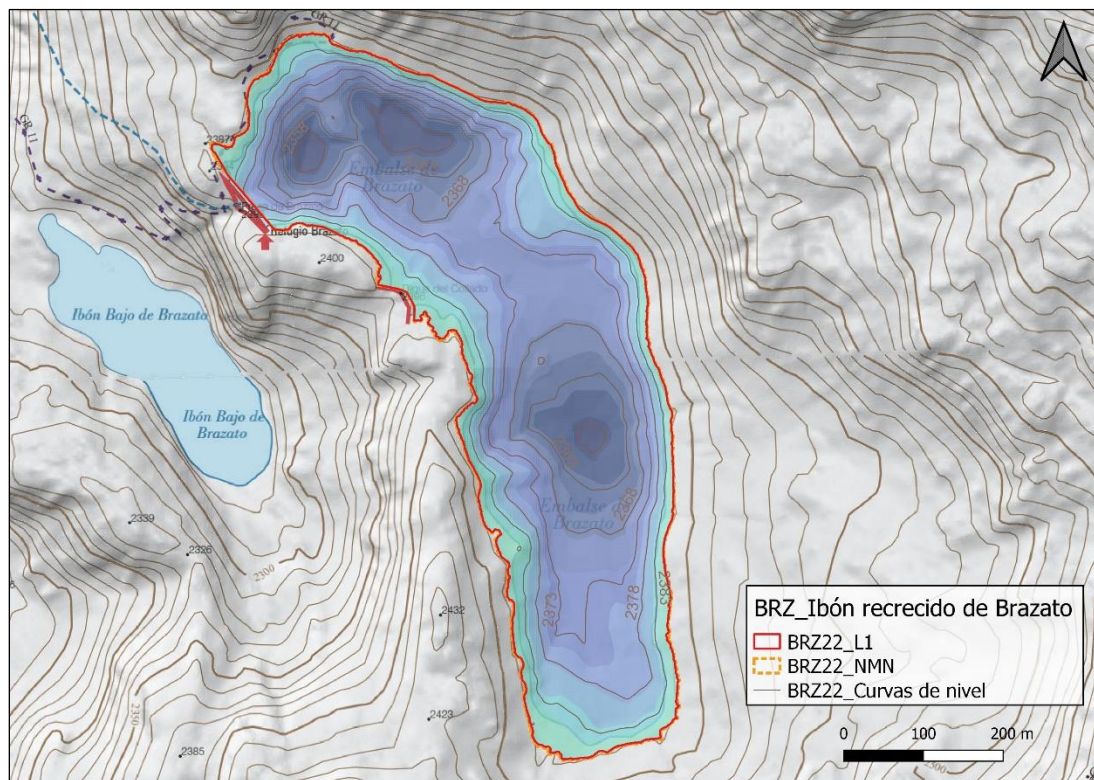


Figura 13. Representación del Ibón recrecido de Brazato sobre mapa topográfico. Fuente: Elaboración propia.

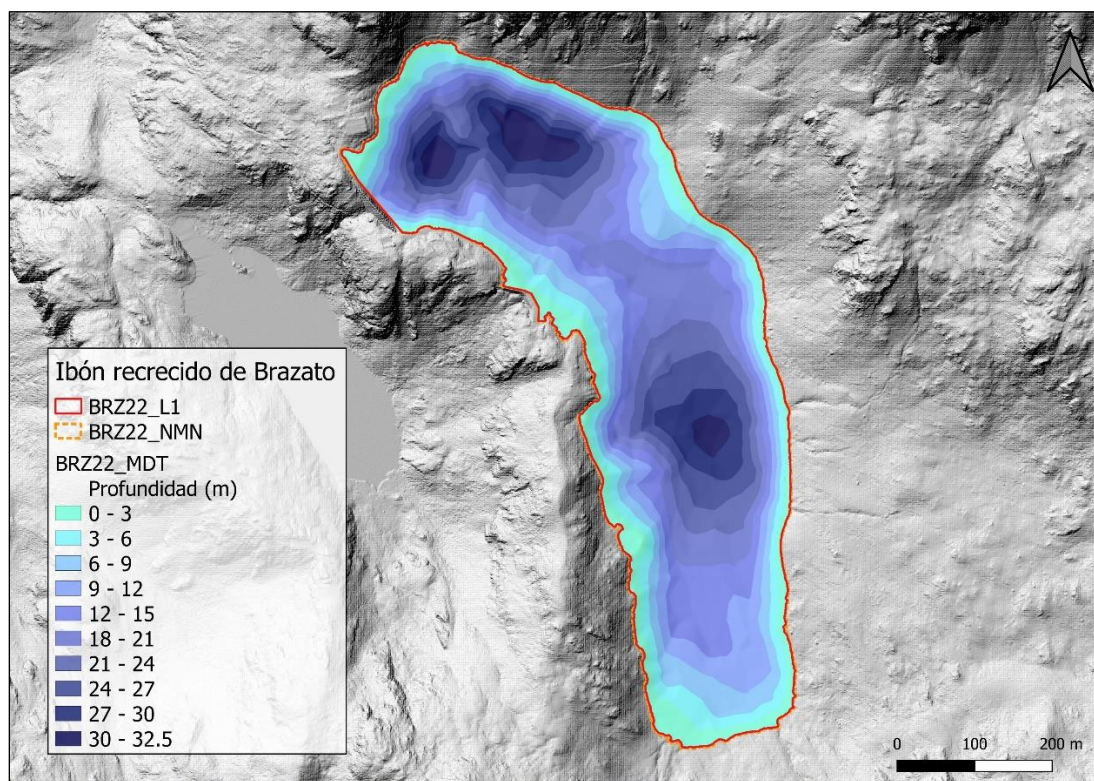


Figura 14. Batimetría del Ibón recrecido de Brazato

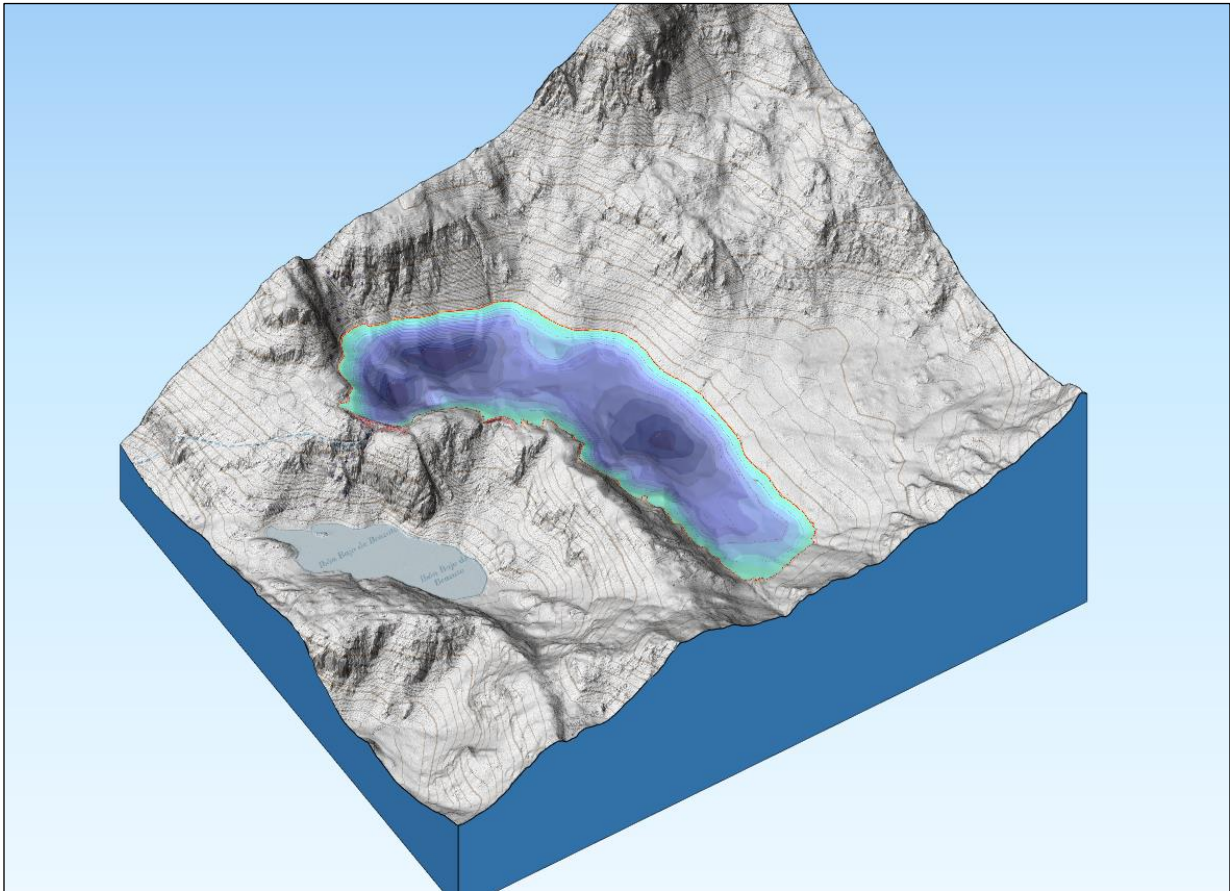


Figura 15. Representación en 3D de la batimetría del Ibón recrecido de Brazato sobre mapa cartográfico. Fuente: Elaboración propia

4.2. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 8,8 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 18. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 16.

Obsérvese que los recorridos realizados se circunscriben al contorno del agua (rojo) correspondiente al 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.

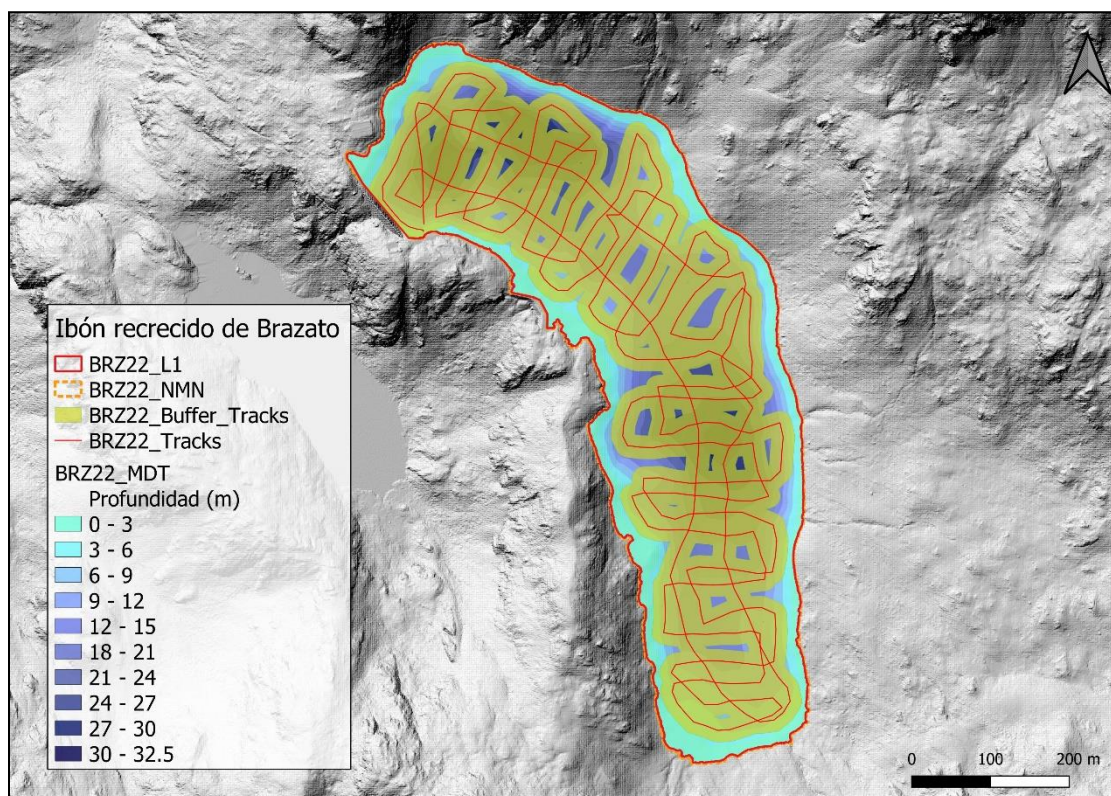


Figura 16. Recorridos del sondeo hidroacústico en el Ibón recrecido de Brazato

En la Figura 17 se muestra un ejemplo de ecograma durante el muestreo acústico en el Ibón recrecido de Brazato, realizado con haz horizontal y que se extiende a una distancia de la embarcación de 30 metros (eje vertical). Se representa la orilla/fondo o zona de choque del haz (línea amarilla), a una distancia promedio de unos 22 metros. Se pueden observar señales de diferentes tamaños en color verdoso a amarillento, que corresponden con señales de peces muy cercanos a la orilla del embalse.

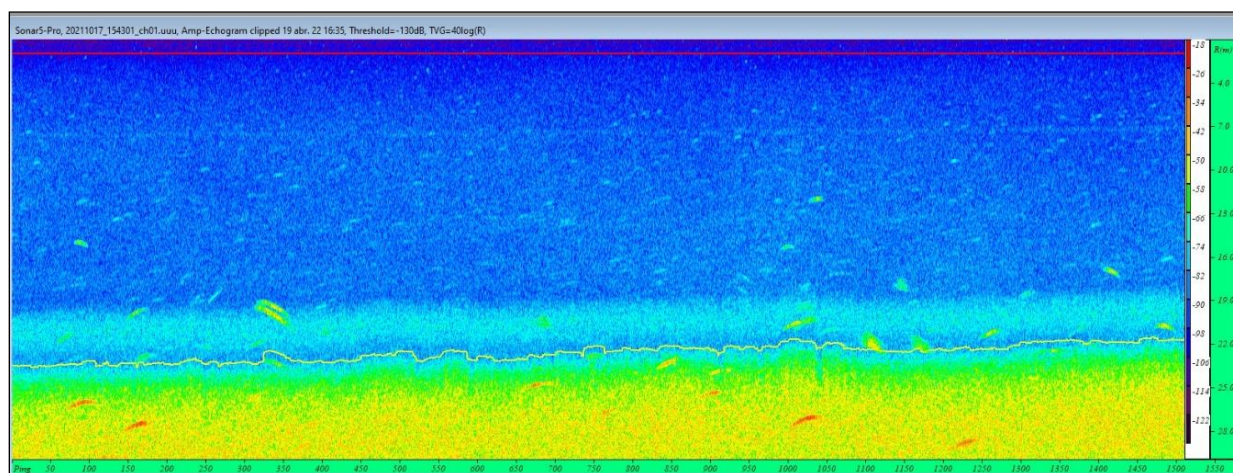


Figura 17. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz horizontal en el Ibón recrecido de Brazato

4.2.1. Distribución y estimación de la densidad de peces

En la Tabla 6 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 6. Densidad de peces (ind/dam³) por estratos, estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Densidad media (ind/1000m ³)	Densidad máxima (ind/1000m ³)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
BRZ22	1	L1	0,30	8	176	41	1,0
		L2	0,41	20	175	164	2,1

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 10,64 ind/dam³ 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. 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 los peces en el estrato superior (L1) se ubican preferentemente en zonas de aguas someras cercanas a las orillas. Sin embargo, en el estrato inferior (L2) son menos abundantes las celdas con peces, y los valores más altos se distribuyen en las cercanías de la presa y en la zona más alejada de la misma (cola del embalse).

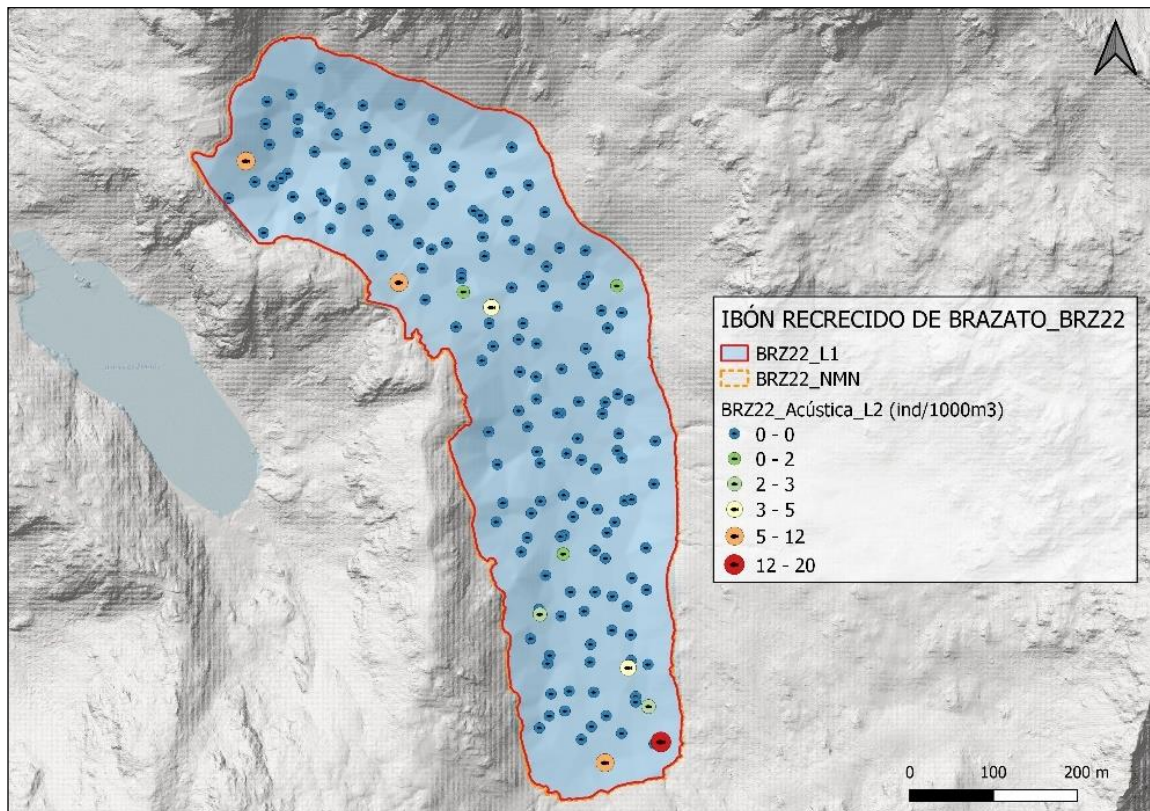
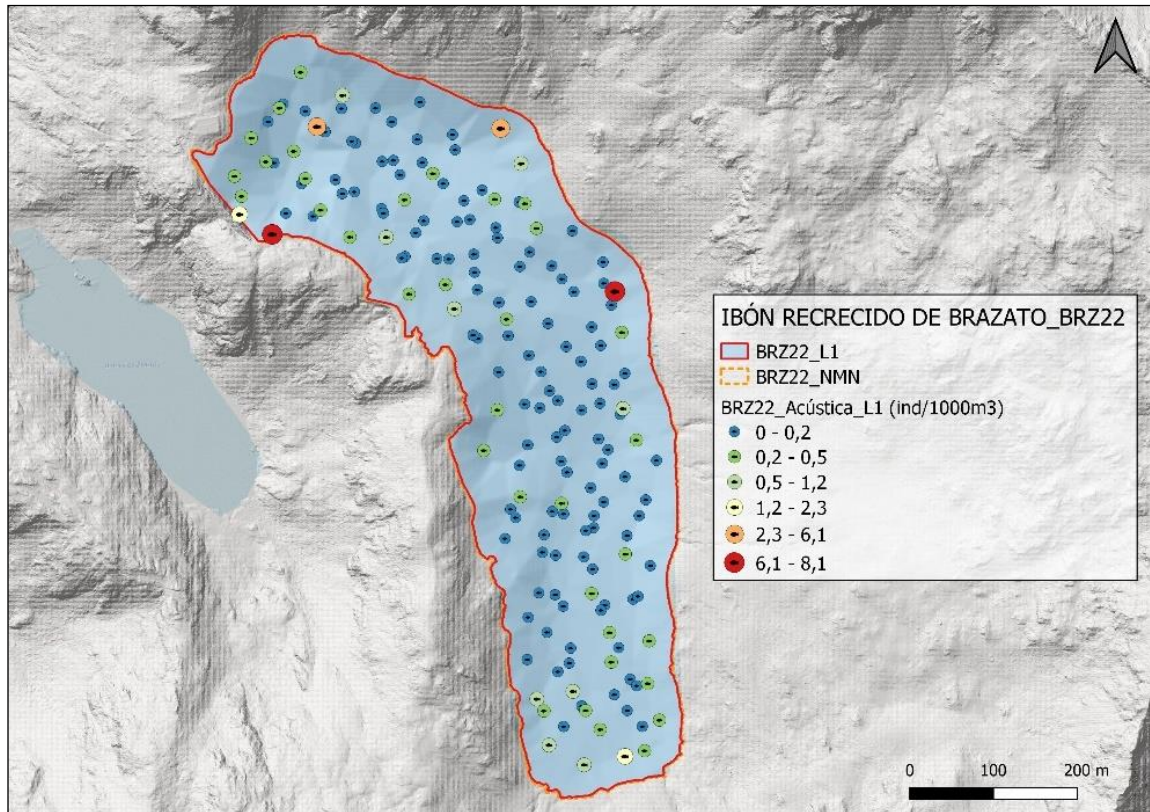


Figura 18. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).

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 Ibón recrecido de Brazato, 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 Utchesa Seca constituye un extremo 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 Ibón recrecido de Brazato se ubica ligeramente por debajo de la media del conjunto de 55 embalses del mencionado gráfico.



Densidad (ind/1000m³)

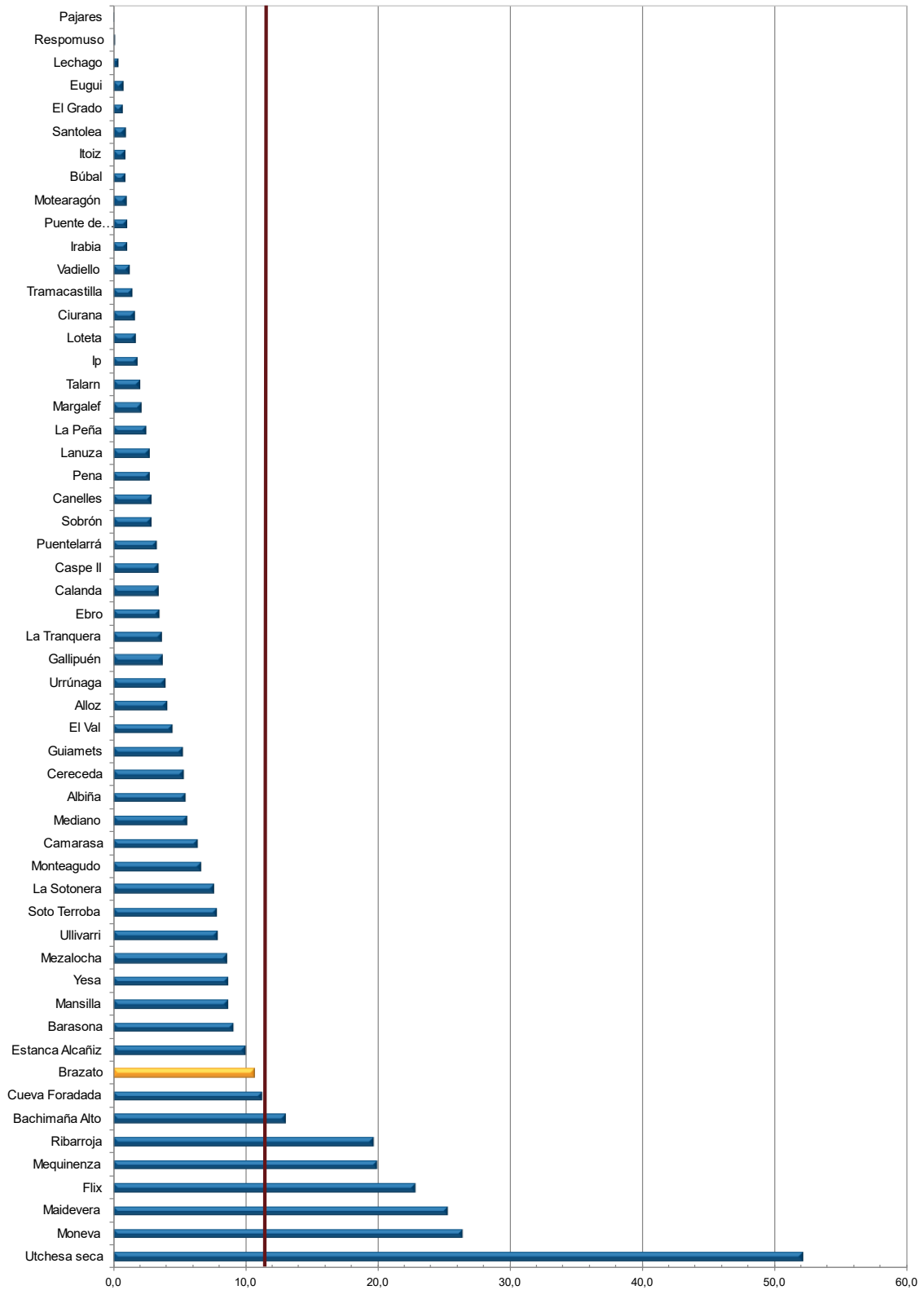


Figura 19. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro

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.



Figura 20. Fotografías de las labores de muestreo en el Ibón recrecido de Brazato

4.3.1. Especies presentes en el embalse

En las pescas efectuadas en el Ibón recrecido de Brazato únicamente se ha capturado una especie, el piscardo, que se puede considerar autóctona en el ámbito de la Demarcación Hidrográfica del Ebro (Froese *et al.*, 2007).

Tabla 7. Especies presentes en el embalse

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

Las abundantes capturas de piscardo evidencian una escasa presión de depredadores, que normalmente en este tipo de masas de agua es la trucha común (*Salmo trutta fario*), que en los muestreos directos no se ha llegado a capturar. Sin embargo, esta especie sí se ha detectado mediante eDNA, como se comenta más adelante.

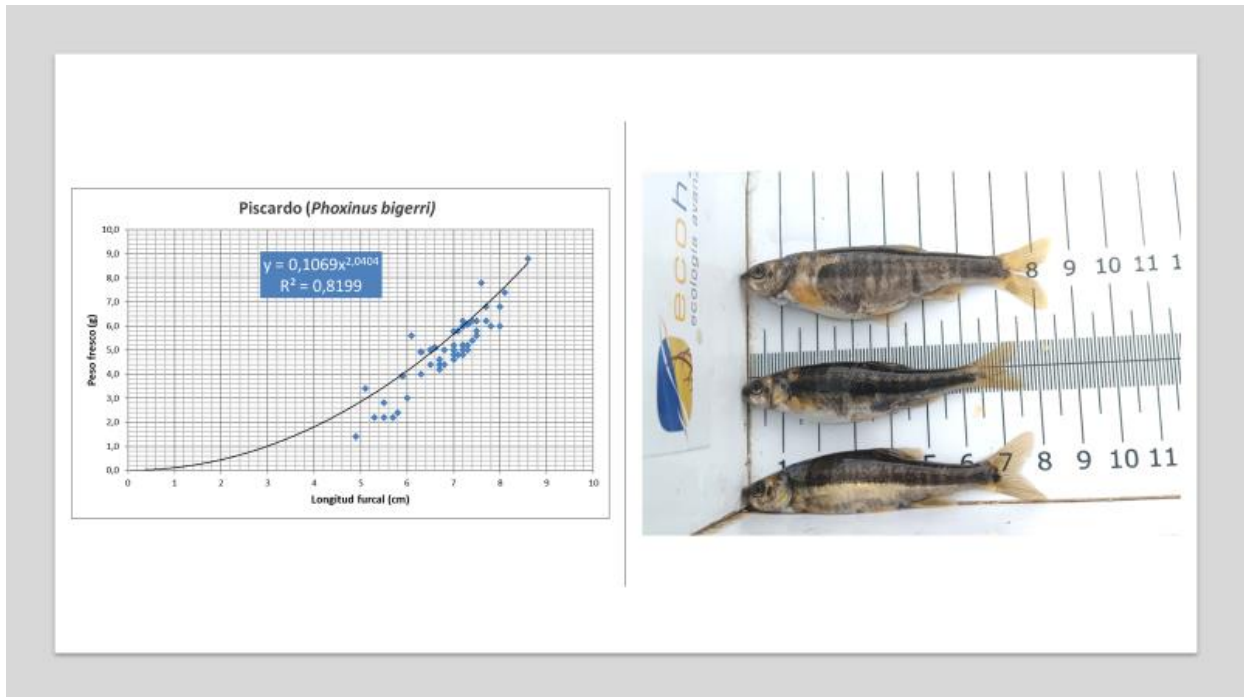


Figura 21. Ejemplares de *Phoxinus phoxinus* capturados en el Ibón superior de Brazato y su curva potencial de longitud/peso.

4.3.2. Composición y distribución de especies

Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 381 ejemplares, con un peso total de 1,3 kg, lo que supone 490 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 1,5 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 2 redes en 7,5 horas de pesca (4,11 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 Ibón recrecido de Brazato

Tipo de lance	Código	Número de paños	Longitud (m)	Altura (m)	Esfuerzo
Red bentónica	BRZ22_S1BEN1	16	40	1,5	0,78 45m ² /12h
Red epipelágica	BRZ22_S1EPL1	16	40	6	3,33 45m ² /12h

En la Tabla 9 y en la Figura 22 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.)	BPU E (%)	Longitud furcal media (mm)	Peso medio (g)
<i>Phoxinus phoxinus</i>	381	490	100	1.127	1.449	100	55	3
Total	381	490	100	1.127	1.449	100	55	3

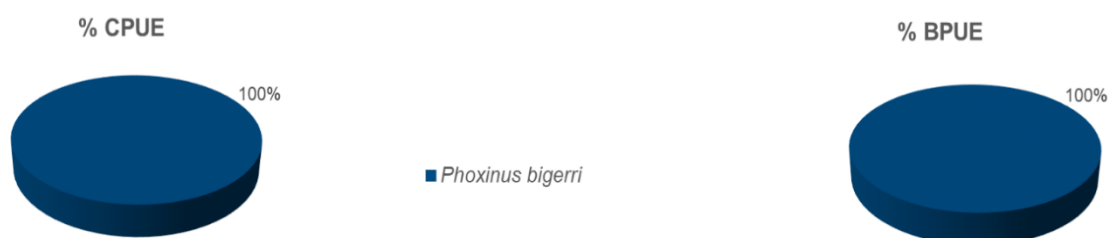


Figura 22. Composición de la asociación obtenida mediante redes

Los valores de CPUE son muy elevados e indican la existencia de una nutrida población de piscardos.

Resultados de la pesca eléctrica

El rendimiento de la pesca eléctrica fue inferior al de las redes, con una captura total de 19 peces con un peso total de 0,1 kilos, lo que supone 24,4 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 0,1 kg de BPUE. En este resultado tan pobre influye la baja conductividad eléctrica del agua, que reduce mucho la capturabilidad. Se realizó un único transecto de pesca eléctrica en las zonas vadeables de orilla.

Tabla 10. Recorridos de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos en el Ibón recrecido de Brazato.

Tipo de lance	Código	Esfuerzo
Pesca eléctrica	BRZ22_S1PES1	40m

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 de la única especie capturada en muestreo de pesca eléctrica.

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 phoxinus</i>	19	24,4	100	97	124,2	100	69	5
Total	19	24,4	100	97	124,2	100	69	5



Figura 23. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

Todos los ejemplares capturados con la pesca eléctrica son piscardos, lo que responde al hecho de que se han realizado en zonas vadeables desde la orilla. Esta especie habita zonas poco profundas alimentándose de plancton y de pequeños moluscos y larvas, mientras la trucha adulta se mantiene fuera del radio efectivo de este tipo de electropesca.

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 sistema (Tabla 12).

Tabla 12. Biomasa de peces por estratos (g/m^2) estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Biomasa media (g/m^2)	Biomasa máxima (g/m^2)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
BRZ22	1	1	0,01	0	176	125	0,03
		2	0,11	13	175	164	0,98

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomásas 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 $0,54 \text{ g/m}^2$ para el conjunto del embalse**, lo que implica una biomasa total de 126 kg.

En la Figura 24 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 los valores de biomasa en el estrato superficial están en un rango muy bajo y se distribuyen periféricamente, en zonas cercanas a las orillas, especialmente en la zona anterior más cercana a la presa y en menor medida en la cola del embalse. Estos valores corresponden a grupos de piscardos.

En el estrato inferior los valores de biomasa son un orden de magnitud superior, lo que indica que las truchas habitan preferentemente esas aguas menos someras. Sin embargo, el número de celdas con peces es inferior, como cabe esperar de una especie depredadora que es menos abundante.

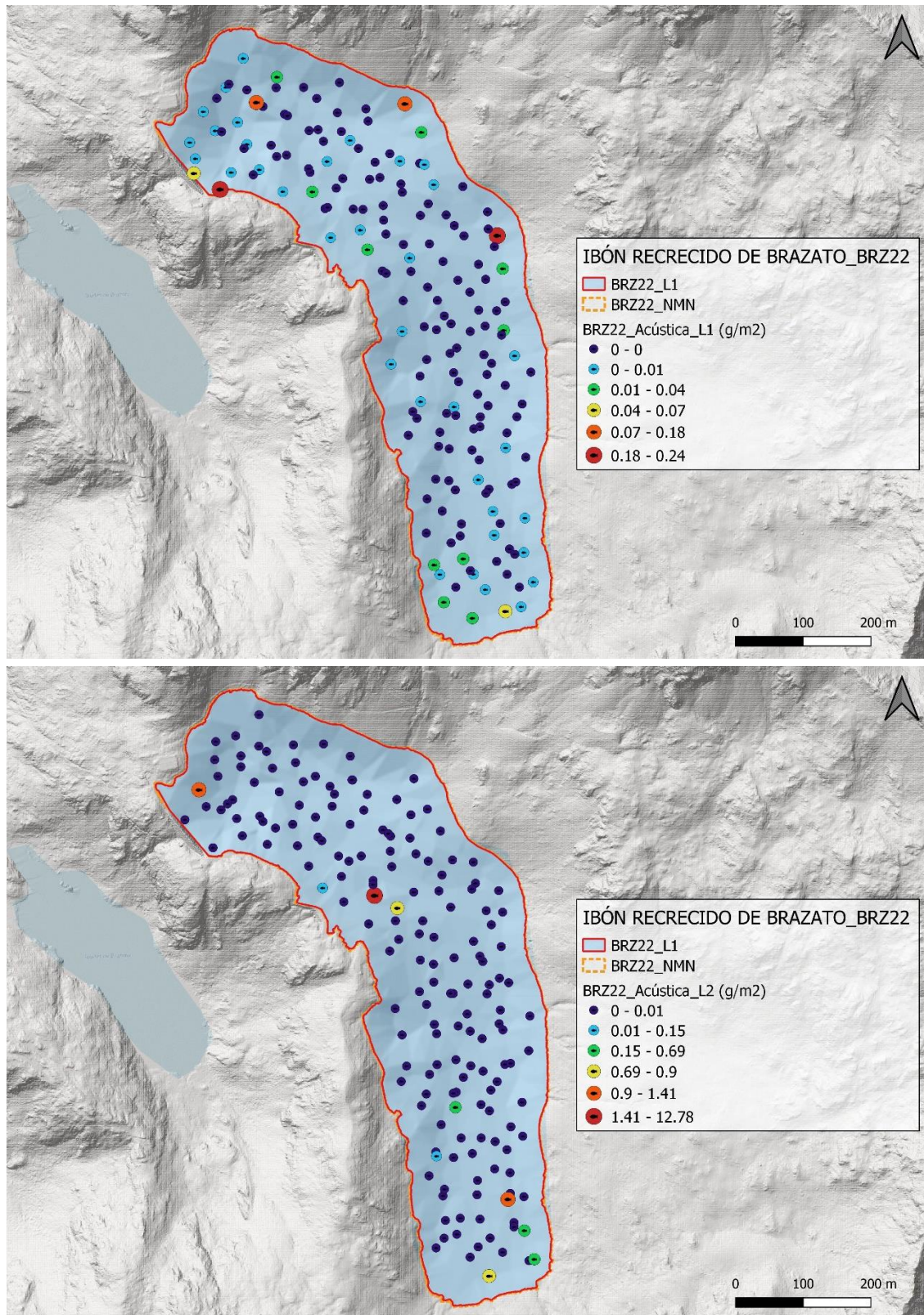


Figura 24. Biomasa de peces en las celdas de análisis hidroacústico en los estratos superior -L1- (arriba) e inferior -L2- (abajo).

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 Ibón recrecido de Brazato, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro cuyas poblaciones de peces se han evaluado con técnicas hidroacústicas y para los que 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 el valor más bajo de las masas de agua estudiadas hasta el momento en la cuenca del Ebro.

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 Ibón recrecido de Brazato 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.

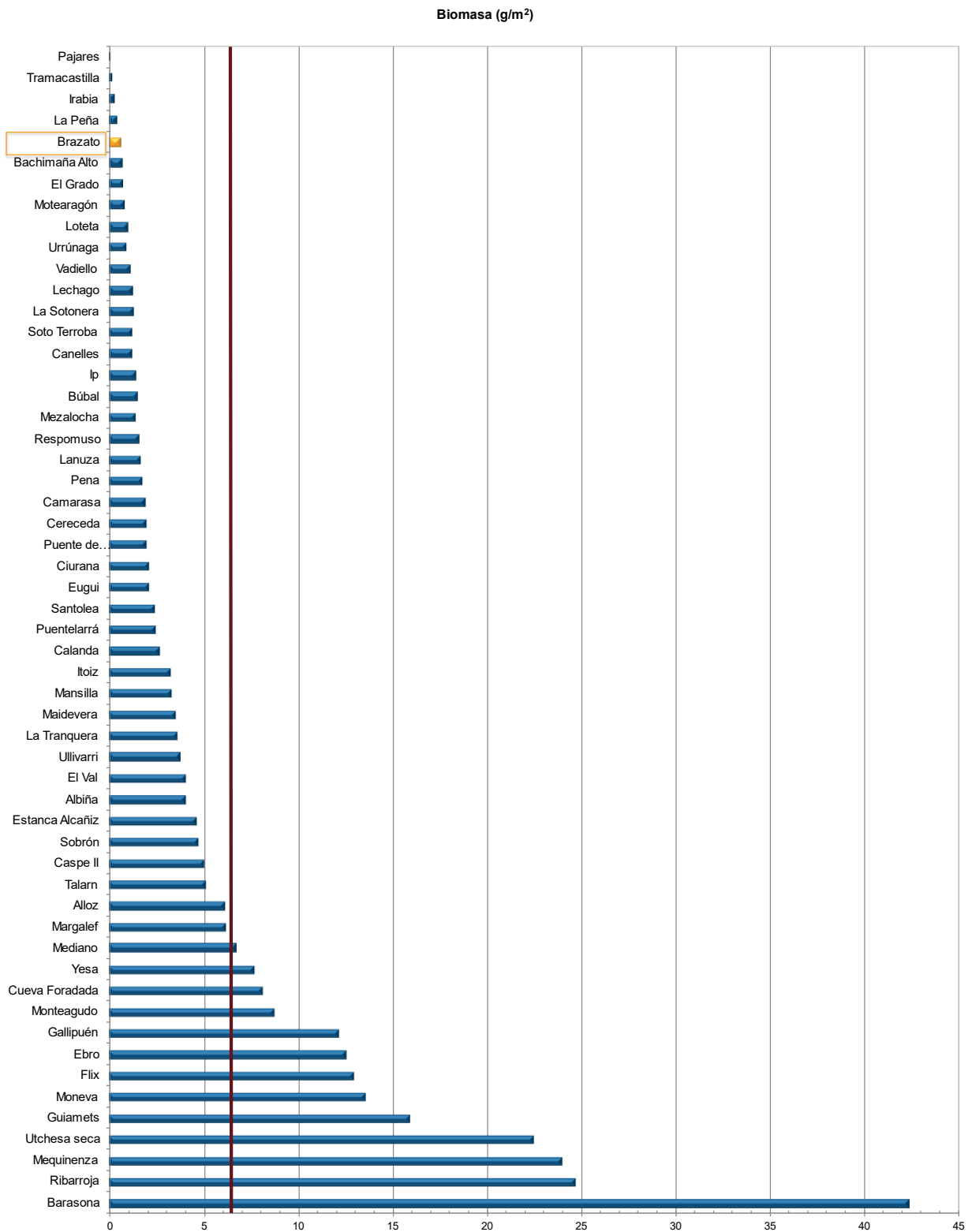


Figura 25. Comparación de la biomasa con otros embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro

4.5. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

Para ofrecer una estimación de las densidades y biomásas por especies se aplica la distribución de especies obtenidas mediante muestreo directo a las densidades y biomásas obtenidas mediante acústica y, en este caso, mediante regresión entre las capturas y la hidroacústica para estimar la población de piscardos, como se ha explicado anteriormente.

En la Tabla 13 se resumen para el conjunto del embalse las observaciones ya expuestas en cuanto a la densidad y biomasa de las especies, referidas a volumen (dam^3) y superficie (m^2) respectivamente, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. Con las modificaciones metodológicas comentadas, en términos absolutos se estima una población de casi 36.000 peces, el 99,8% de los cuales son piscardos, y una biomasa de 126 kg, de los que el 17% son truchas.

Tabla 13. Densidades (ind/dam^3) y biomásas (g/m^2) por especie

	Densidad media (ind/dam^3)	Abundancia (%)	Abundancia Total (ind)	Biomasa media (g/m^2)	Biomasa (%)	Peso total (kg)
<i>Salmo trutta fario</i>	0,02	0,2%	61	0,09	16,9%	21
<i>Phoxinus phoxinus</i>	10,62	99,8%	35.852	0,45	83,1%	105
Total	10,64	100%	35.913	0,54	100%	126

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 Ibón recrecido de Brazato 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 recrecido de Brazato. Sin embargo, solo cuatro de ellas han podido ser cuantificables, en las otras seis se ha detectado la especie pero la concentración de ADN está por debajo de 1 copia/ml que es el nivel inferior de la recta patrón por lo tanto, se puede decir que la concentración de ADN en esas muestras está entre 0 y una copia por litro analizado.

Se obtuvo una recta patrón con un alto grado de ajuste ($R^2 = 0,939$).

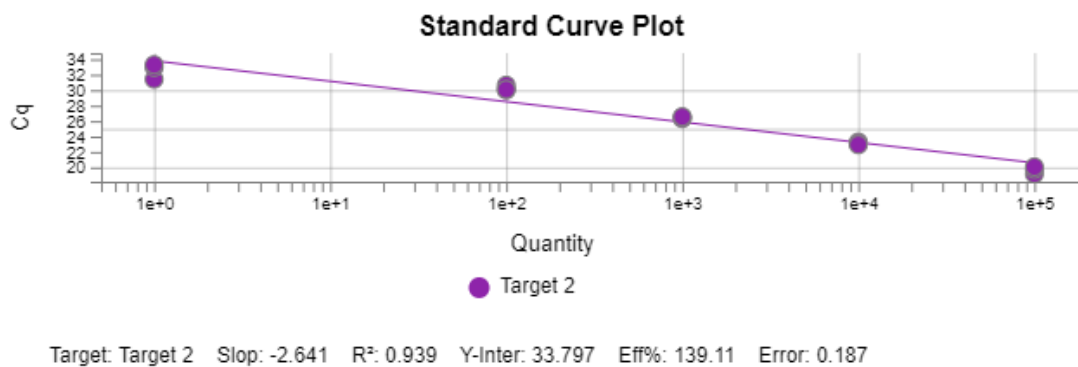


Figura 26. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada.

Tabla 14. Concentración de *Salmo trutta fario* en las muestras del Ibón recrecido de Brazato.

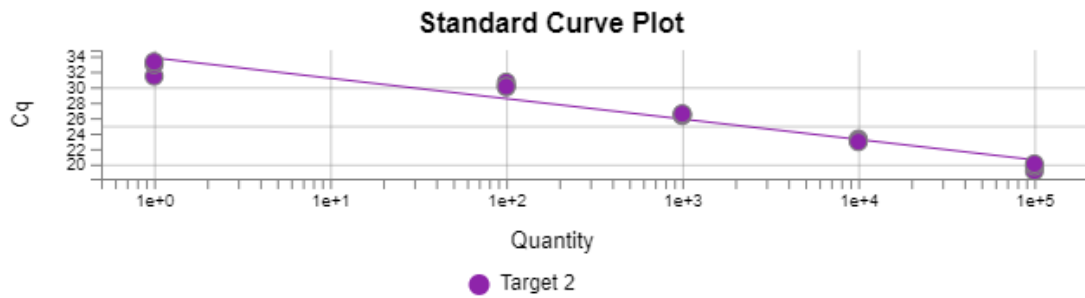
Código	Concentración (ng/μL)
BRZ_E1_S	4.053
BRZ_E1_M	1.837
BRZ_E1_F	3.313
BRZ_PES_1_1	3.317
BRZ_PES_1_2	<LD
BRZ_PES_1_3	<LD
BRZ_BEN_1_1	<LD
BCA_BEN_1_2	<LD
BCA_BEN_1_3	<LD

Este método específico de alta sensibilidad, basado en la detección genética mediante ADN ambiental de moléculas de ADN de trucha común en el agua, ha servido para confirmar la presencia de esta especie en el Ibón recrecido de Brazato. Como solo se ha encontrado en cuatro de las 9 muestras tomadas, se deduce que la población de trucha es escasa y su distribución dispersa y eso explica que no se haya capturado ningún ejemplar en los muestreos directos.

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 Ibón recrecido de Brazato. Se obtuvo una recta patrón con un alto grado de ajuste ($R^2 = 0,939$).



Target: Target 2 Slop: -2.641 R²: 0.939 Y-Inter: 33.797 Eff%: 139.11 Error: 0.187

Figura 27. 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 Ibón recrecido de Brazato.

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

Los resultados de este método de muestreo y estimación cuantitativa, que se han aplicado a una limitada población de embalses de la Península Ibérica, 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 "Óptima". En la Tabla 14 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el Ibón recrecido de Brazato.

Tabla 14. Resultados del QFBI obtenidos para el Ibón recrecido de Brazato

Métrica	Embalse
	BRZ22
LOG_BIO	3,73
LOG_BIO_native	3,73
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_ciprin_native	3,65
QFBI	-1,48
Calidad	Óptimo



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 Ibón recrecido de Brazato 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 85, 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 el 99,8 %. En términos de biomasa también domina este pequeño ciprínido, pero la trucha común alcanzaría el 17% de la biomasa total de peces.

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 10,64 ind/dam³, que es un valor alto para un embalse de montaña. La biomasa de peces obtenida en el embalse es de 0,54 g/m², o lo que es lo mismo 5,4 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 Ibón recrecido de Brazato 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 cebador 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 m²) 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 m²) 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/45m²/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

MBPUE4: Promedio de biomasa por unidad de esfuerzo (g/45m²/12h) en redes de 4 paños (luces de malla de 70 a 135 mm).

MCPUE12: Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m²/12h) en redes de 12 paños (luces de malla de 5 a 55 mm).

MCPUE4: Promedio de capturas por unidad de esfuerzo (ind/45m²/12h) 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.

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

Procercario: 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.*

Del Castillo, M. (2003). Morfometría de lagos. Una aplicación a los lagos del Pirineo (Doctoral dissertation, PhD. Thesis, University of Barcelona).

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.

Phoxinus phoxinus Kottelat, 2007 in Froese, R., & Pauly, D. (2018). FishBase. In O. Bánki, Y. Roskov, M. Döring, G. Ower, D. R. Hernández Robles, C. A. Plata Corredor, T. Stjernergaard Jeppesen, A. Örn, L. Vandepitte, D. Hobern, P. Schalk, R. E. DeWalt, M. Keping, J. Miller, T. Orrell, R. Aalbu, J. Abbott, R. Adlard, E. M. Adriaenssens, *et al.*, Catalogue of Life Checklist (Feb 2018). <https://doi.org/10.48580/dfs-37v>

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.
- Miró A. & Ventura M. 2013. Historical use, fishing management and lake characteristics explain the presence of non-native trout in Pyrenean lakes: Implications for conservation. *Biological Conservation* 167, 17-24.
- Miró A. & Ventura M. 2015. Evidence of exotic trout mediated minnow invasion in Pyrenean high mountain lakes. *Biological Invasions* 17, 791-803.
- 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.
- Schabetsberger, R.; Jersabek, C.D.; Maringer, A.; Kreiner, D.; Kaltenbrunner, M.; Blažková, P.; Pokorný, P.; Denoël, M.; Emmerstorfer, H.; Lipovnik, C.; *et al.* Pulling the Plug - Draining an Alpine Lake Failed to Eradicate Alien Minnows and Impacted Lower Trophic Levels. *Water* 2023, 15, 1332.
- 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.



ANEXOS



ANEXO 1. ESPECIES PRESENTES

Embalse de Brazato

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	Ibón recrecido de Brazato	CÓDIGO DE RED	BRZ22_S1BEN1			
UTM-X	728640	UTM-Y	4736394			
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m	SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H31			
INICIO	30-6-22 9:30	FIN	30-6-22 16:30			
PROFUNDIDAD	9	PROFUNDIDAD DE LA RED	7			
RIQUEZA ESPECIES	1	ESFUERZO APLICADO	0,8			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Piscardo	400	512,82	100%	2100	2.692,50	100%
Total	400	512,82	100%	2100	2.692,50	100%

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	7,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	4,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	74	5,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	60	3	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	61	5,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	67	4,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	5,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	58	2,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	57	2,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	53	2,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	80	6,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	86	8,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	5,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	77	6,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	68	4,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	4,6	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	71	5,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	67	4,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	75	6,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	5	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	49	1,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	63	4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	68	5	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	71	4,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	55	2,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	77	6,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	72	6,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	73	5,2	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	73	5	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	5	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	51	3,4	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	76	7,8	1
Piscardo	<i>Phoxinus phoxinus</i>	70	4,8	1



ANEXO 3. CELDAS DEL MUESTREO HIDROACÚSTICO



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	1	728215,08	4737015,44	7,63	0,23
1	2	728176,16	4737039,18	2,26	0,07
1	3	728170,03	4737084,78	0,48	0,01
1	4	728190,09	4737130,39	0,22	0,01
1	5	728223,64	4737166,27	0,29	0,01
1	6	728249,20	4737209,11	0,23	0,01
1	7	728299,07	4737181,50	0,67	0,02
1	8	728278,46	4737137,98	0,04	0
1	9	728254,79	4737082,06	0,38	0,01
1	10	728231,32	4737040,58	0,17	0,01
1	11	728272,93	4737044,50	0,23	0,01
1	12	728313,30	4737066,19	0	0
1	13	728346,59	4737102,49	0,04	0
1	14	728357,90	4737149,94	0,01	0
1	15	728391,51	4737173,53	0,05	0
1	16	728430,57	4737134,53	0,11	0
1	17	728394,33	4737101,10	0,07	0
1	18	728373,15	4737056,72	0,24	0,01
1	19	728351,37	4737011,88	0,94	0,03
1	20	728370,13	4736987,07	0,05	0
1	21	728411,88	4736986,33	0,08	0
1	22	728436,12	4737030,39	0,11	0
1	23	728465,87	4737068,27	0,01	0
1	24	728488,24	4737141,95	3,58	0,11
1	25	728512,56	4737099,92	1,04	0,03
1	26	728510,13	4737054,04	0,11	0
1	27	728484,44	4737011,21	0,1	0
1	28	728456,74	4736970,00	0,02	0
1	29	728432,90	4736926,38	0,73	0,02
1	30	728455,00	4736894,88	0,13	0
1	31	728497,15	4736894,15	0,03	0
1	32	728524,52	4736934,92	0,15	0
1	33	728549,25	4736977,72	0,13	0
1	34	728573,80	4737019,67	0,14	0
1	35	728610,40	4736982,29	0,01	0
1	36	728575,55	4736946,78	0	0
1	37	728544,63	4736908,86	0,04	0
1	38	728566,48	4736881,18	0,04	0
1	39	728596,99	4736904,66	0,01	0
1	40	728624,75	4736947,15	8,05	0,24
1	41	728632,85	4736898,22	0,53	0,02
1	42	728636,53	4736849,15	0,03	0
1	43	728606,83	4736813,39	0,03	0
1	44	728556,51	4736816,80	0,06	0
1	45	728516,84	4736812,52	0	0
1	46	728520,46	4736763,87	0,12	0
1	47	728554,91	4736773,07	0,04	0
1	48	728605,01	4736770,91	0	0
1	49	728650,31	4736769,44	0,35	0,01



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	50	728674,44	4736745,22	0,15	0
1	51	728661,58	4736698,14	0,04	0
1	52	728611,11	4736695,63	0	0
1	53	728560,92	4736693,96	0,33	0,01
1	54	728511,51	4736701,66	0,18	0,01
1	55	728505,97	4736676,87	0,04	0
1	56	728539,97	4736656,37	0	0
1	57	728589,98	4736661,42	0	0
1	58	728639,04	4736655,42	0,05	0
1	59	728666,96	4736619,44	0,12	0
1	60	728646,28	4736579,31	0,01	0
1	61	728596,80	4736586,16	0,36	0,01
1	62	728553,17	4736584,71	0,09	0
1	63	728571,79	4736520,87	0,15	0
1	64	728618,37	4736539,38	0,3	0,01
1	65	728665,67	4736529,49	0,21	0,01
1	66	728663,91	4736478,54	0,39	0,01
1	67	728623,90	4736465,34	0,06	0
1	68	728574,46	4736469,22	0,71	0,02
1	69	728531,42	4736460,15	0,68	0,02
1	70	728563,46	4736427,28	0,08	0
1	71	728607,06	4736423,65	0,45	0,01
1	72	728657,44	4736427,43	0,02	0
1	73	728636,75	4736391,54	2,29	0,07
1	74	728588,01	4736381,45	1,19	0,04
1	75	728545,84	4736405,08	0,87	0,03
1	76	728539,88	4736446,01	0,32	0,01
1	77	728589,67	4736446,39	0,4	0,01
1	78	728639,26	4736446,34	0,02	0
1	79	728642,86	4736483,78	0,02	0
1	80	728620,31	4736504,23	0,29	0,01
1	81	728570,06	4736502,99	0	0
1	82	728519,86	4736507,28	0,13	0
1	83	728520,96	4736557,77	0,01	0
1	84	728562,82	4736571,03	0	0
1	85	728612,47	4736572,26	0	0
1	86	728652,29	4736582,90	0,02	0
1	87	728637,06	4736633,29	0,24	0,01
1	88	728587,42	4736629,95	0	0
1	89	728538,06	4736635,53	0,01	0
1	90	728493,30	4736651,86	0,06	0
1	91	728499,98	4736686,85	0	0
1	92	728549,96	4736684,27	0,1	0
1	93	728599,74	4736679,13	0	0
1	94	728653,72	4736679,23	0,03	0
1	95	728636,62	4736725,73	0	0
1	96	728609,59	4736741,80	0,01	0
1	97	728560,31	4736744,41	0	0
1	98	728510,54	4736739,37	0,08	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	99	728467,95	4736757,05	0,28	0,01
1	100	728484,15	4736805,50	0,36	0,01
1	101	728534,90	4736808,04	0	0
1	102	728584,81	4736805,44	0,08	0
1	103	728634,27	4736807,08	0,57	0,02
1	104	728623,83	4736836,00	0	0
1	105	728584,17	4736863,52	0,07	0
1	106	728536,25	4736851,34	0	0
1	107	728485,64	4736850,93	0,05	0
1	108	728460,58	4736891,24	0	0
1	109	728486,01	4736934,07	0	0
1	110	728511,13	4736976,88	0,13	0
1	111	728530,74	4737022,49	0,26	0,01
1	112	728517,01	4737052,14	0,44	0,01
1	113	728480,88	4737057,32	0,41	0,01
1	114	728451,22	4737033,01	0,02	0
1	115	728456,17	4736991,60	0,1	0
1	116	728422,28	4736955,29	0,2	0,01
1	117	728378,55	4736944,09	0,18	0,01
1	118	728373,83	4736988,88	0,01	0
1	119	728396,31	4737031,61	0,01	0
1	120	728419,49	4737076,06	0,07	0
1	121	728433,78	4737116,40	0,07	0
1	122	728388,45	4737128,89	0	0
1	123	728367,84	4737086,65	0	0
1	124	728348,03	4737040,61	0,16	0
1	125	728307,91	4737012,15	0,45	0,01
1	126	728264,06	4737036,99	0	0
1	127	728290,47	4737080,70	0,01	0
1	128	728310,42	4737126,74	0	0
1	129	728338,53	4737166,26	0	0
1	130	728297,88	4737165,76	0	0
1	131	728254,61	4737162,64	0,03	0
1	132	728241,02	4737114,68	0,32	0,01
1	133	728178,49	4737060,88	0,26	0,01
1	134	728207,74	4737102,13	0,29	0,01
1	135	728250,39	4737075,98	0	0
1	136	728298,82	4737064,01	0,03	0
1	137	728345,81	4737046,05	0,02	0
1	138	728386,74	4737017,30	0,04	0
1	139	728426,31	4736985,95	0,05	0
1	140	728460,20	4736949,32	0,07	0
1	141	728495,34	4736914,02	0,22	0,01
1	142	728521,82	4736870,78	0	0
1	143	728546,45	4736828,35	0,01	0
1	144	728564,83	4736781,03	0,04	0
1	145	728567,49	4736731,08	0,02	0
1	146	728563,34	4736681,32	0,16	0
1	147	728553,69	4736631,80	0,02	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
1	148	728533,76	4736587,04	0,01	0
1	149	728543,45	4736539,86	0,1	0
1	150	728556,50	4736492,79	0,02	0
1	151	728584,97	4736451,75	0	0
1	152	728660,08	4736398,25	0,18	0,01
1	153	728677,85	4736434,90	0,23	0,01
1	154	728650,68	4736475,98	0,12	0
1	155	728629,13	4736521,49	0,05	0
1	156	728608,05	4736566,17	0,09	0
1	157	728598,03	4736615,46	0,03	0
1	158	728599,15	4736664,69	0	0
1	159	728595,68	4736712,50	0,15	0
1	160	728616,37	4736758,14	0	0
1	161	728631,11	4736800,19	0	0
1	162	728597,34	4736836,82	0	0
1	163	728607,64	4736882,54	0,01	0
1	164	728620,59	4736930,89	0	0
1	165	728611,40	4736956,88	0	0
1	166	728561,28	4736962,01	0	0
1	167	728522,76	4736994,23	0,06	0
1	168	728482,40	4737023,44	0	0
1	169	728444,15	4737055,67	0,04	0
1	170	728407,14	4737087,95	0,38	0,01
1	171	728359,91	4737103,78	0	0
1	172	728314,66	4737124,34	0	0
1	173	728268,61	4737144,01	6,07	0,18
1	174	728228,04	4737171,09	0	0
1	175	728210,19	4737150,14	0,01	0
1	176	728217,26	4737100,76	0	0
2	1	728204,56	4737019,70	0	0
2	2	728163,05	4737061,11	0	0
2	3	728183,78	4737105,30	10,48	1,23
2	4	728207,04	4737149,79	0	0
2	5	728237,99	4737185,13	0	0
2	6	728272,48	4737216,35	0	0
2	7	728283,70	4737162,02	0	0
2	8	728265,66	4737116,36	0	0
2	9	728239,61	4737062,76	0	0
2	10	728247,95	4737037,31	0	0
2	11	728296,92	4737048,69	0	0
2	12	728332,09	4737082,48	0	0
2	13	728355,96	4737125,29	0	0
2	14	728367,99	4737173,09	0	0
2	15	728407,56	4737154,98	0	0
2	16	728410,74	4737119,89	0	0
2	17	728380,61	4737080,94	0	0
2	18	728359,59	4737035,39	0	0
2	19	728346,05	4736992,52	0	0
2	20	728394,45	4736977,17	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	21	728423,70	4737007,44	0	0
2	22	728455,60	4737046,13	0	0
2	23	728476,24	4737091,03	0	0
2	24	728501,55	4737121,76	0	0
2	25	728521,44	4737076,72	0	0
2	26	728495,72	4737033,94	0	0
2	27	728468,85	4736991,68	0	0
2	28	728443,35	4736949,01	1,72	12,78
2	29	728434,73	4736907,08	0	0
2	30	728479,04	4736884,15	0	0
2	31	728514,66	4736911,49	0	0
2	32	728538,49	4736955,73	0	0
2	33	728558,59	4737001,67	0	0
2	34	728589,40	4736998,42	0	0
2	35	728592,60	4736967,18	0	0
2	36	728555,90	4736931,73	0	0
2	37	728531,08	4736887,34	0	0
2	38	728589,68	4736881,29	0	0
2	39	728608,45	4736926,70	0	0
2	40	728632,77	4736924,41	0	0
2	41	728630,61	4736873,52	0	0
2	42	728628,01	4736826,80	0	0
2	43	728581,40	4736818,05	0	0
2	44	728530,85	4736820,95	0	0
2	45	728520,26	4736787,92	0	0
2	46	728531,71	4736758,46	0	0
2	47	728580,33	4736773,86	0	0
2	48	728627,56	4736759,50	0	0
2	49	728673,03	4736770,80	0	0
2	50	728671,26	4736719,64	0	0
2	51	728636,14	4736699,37	0	0
2	52	728585,58	4736697,18	0	0
2	53	728535,83	4736699,01	0	0
2	54	728490,71	4736696,74	0	0
2	55	728519,87	4736655,42	0	0
2	56	728564,12	4736658,26	0	0
2	57	728615,25	4736661,32	0	0
2	58	728661,49	4736643,22	0	0
2	59	728662,38	4736593,12	0	0
2	60	728621,65	4736585,28	0	0
2	61	728571,32	4736590,49	0	0
2	62	728560,16	4736561,58	0	0
2	63	728595,58	4736527,76	0	0
2	64	728643,66	4736539,16	0	0
2	65	728664,10	4736503,71	0	0
2	66	728649,45	4736465,57	0	0
2	67	728599,31	4736470,55	0	0
2	68	728548,22	4736468,62	0	0
2	69	728546,18	4736442,41	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	70	728584,61	4736414,27	0	0
2	71	728632,60	4736421,50	0	0
2	72	728671,63	4736409,11	0	0
2	73	728612,79	4736386,35	12,2	0,9
2	75	728534,39	4736428,00	0	0
2	76	728564,92	4736448,17	0	0
2	77	728614,23	4736442,56	0	0
2	78	728649,54	4736458,93	0	0
2	79	728643,98	4736508,62	0	0
2	80	728594,92	4736506,60	0	0
2	81	728544,42	4736504,93	0	0
2	82	728523,94	4736534,57	0	0
2	83	728533,96	4736569,86	0	0
2	84	728587,93	4736567,53	0	0
2	85	728639,10	4736573,27	0	0
2	86	728644,85	4736607,09	0	0
2	87	728613,18	4736630,68	0	0
2	88	728562,93	4736635,80	2	0,34
2	89	728512,76	4736638,35	0	0
2	90	728482,87	4736674,17	0	0
2	91	728524,69	4736684,56	0	0
2	92	728574,75	4736680,25	0	0
2	93	728624,63	4736673,92	0	0
2	94	728644,44	4736700,89	0	0
2	95	728633,15	4736750,38	0	0
2	96	728584,71	4736748,38	0	0
2	97	728535,10	4736744,57	0	0
2	98	728484,07	4736742,87	0	0
2	99	728473,89	4736781,88	0	0
2	100	728509,68	4736806,99	0	0
2	101	728559,70	4736804,12	0	0
2	102	728609,69	4736803,55	0	0
2	103	728641,65	4736820,14	0	0
2	104	728603,36	4736851,53	0	0
2	105	728561,05	4736856,93	0	0
2	106	728511,03	4736853,63	0	0
2	107	728465,85	4736866,92	0	0
2	108	728474,36	4736911,60	0	0
2	109	728501,29	4736954,03	0	0
2	110	728522,80	4736999,85	0	0
2	111	728540,76	4737044,36	0	0
2	112	728497,04	4737068,39	0	0
2	113	728467,05	4737036,75	0	0
2	114	728466,63	4737014,55	0	0
2	115	728441,25	4736971,22	0	0
2	116	728397,94	4736939,64	0	0
2	117	728366,55	4736960,21	10,45	0,05
2	118	728390,17	4737007,34	0	0
2	119	728407,29	4737054,24	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	120	728432,48	4737098,53	0	0
2	121	728410,02	4737120,03	0	0
2	122	728377,47	4737110,39	0	0
2	123	728356,04	4737064,85	0	0
2	124	728329,43	4737022,51	0	0
2	125	728284,82	4737024,62	0	0
2	126	728278,45	4737058,43	0	0
2	127	728302,50	4737102,29	0	0
2	128	728326,57	4737145,64	0	0
2	129	728323,42	4737171,71	0	0
2	130	728272,37	4737169,83	0	0
2	131	728245,79	4737139,38	0	0
2	132	728233,72	4737090,75	0	0
2	133	728194,46	4737080,48	0	0
2	134	728225,95	4737084,64	0	0
2	135	728273,68	4737066,32	0	0
2	136	728322,34	4737054,32	0	0
2	137	728365,30	4737029,97	0	0
2	138	728405,51	4736999,82	0	0
2	139	728441,24	4736965,16	0	0
2	140	728477,04	4736930,44	3,44	0,87
2	141	728509,52	4736892,33	0	0
2	142	728530,48	4736847,56	0	0
2	143	728555,85	4736804,31	0	0
2	144	728566,98	4736755,97	0	0
2	145	728563,62	4736706,25	0	0
2	146	728559,70	4736656,60	0	0
2	147	728541,91	4736610,16	0	0
2	148	728535,04	4736563,67	2,52	0,15
2	149	728546,69	4736514,73	0	0
2	150	728570,04	4736471,93	0	0
2	151	728596,52	4736429,51	0	0
2	152	728679,61	4736411,18	20,32	0,53
2	153	728664,90	4736453,54	2,69	0,69
2	154	728640,56	4736499,75	4,67	1,41
2	155	728620,89	4736544,77	0	0
2	156	728601,01	4736590,54	0	0
2	157	728600,77	4736640,00	0	0
2	158	728603,77	4736689,20	0	0
2	159	728602,43	4736737,46	0	0
2	160	728629,28	4736779,70	0	0
2	161	728613,00	4736817,08	0	0
2	162	728599,13	4736859,31	0	0
2	163	728616,05	4736905,85	0	0
2	164	728626,92	4736956,25	1,56	0,01
2	165	728587,17	4736958,61	0	0
2	166	728543,04	4736979,37	0	0
2	167	728504,50	4737010,59	0	0
2	168	728463,64	4737040,59	0	0



ESTRATO	SEGMENTO	UTM X (H30)	UTM Y (30)	DENSIDAD (ind/dam3)	BIOMASA (g/m2)
2	169	728427,56	4737075,16	0	0
2	170	728384,14	4737098,95	0	0
2	171	728338,11	4737117,26	0	0
2	172	728292,55	4737137,27	0	0
2	173	728245,84	4737155,42	0	0
2	174	728208,71	4737176,59	0	0
2	175	728211,82	4737125,27	0	0
2	176	728216,39	4737075,69	0	0



ANEXO 4. BOLETINES DE ENSAYO DE eDNA



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

Recepción de muestras en el laboratorio

Fecha:	03/07/2022
Técnico:	Susana Deus Álvarez
Nº Muestras:	9
Estado de las muestras:	Frías
Almacenaje:	Congelación

Código de muestra	Chequeo
BRZ_E1S	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_E1M	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_E1F	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_3	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_1	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_2	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_3	<input checked="" type="checkbox"/>



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

Filtración de muestras de agua

Técnico:	Susana Deus Álvarez
Almacenaje:	Congelación
Incidencias:	No

Muestras filtradas			
Código	Volumen (L)	Nº filtros	Fecha
BRZ_E1_S	1	2	07/07/2022
BRZ_E1_M	1	2	07/07/2022
BRZ_E1_F	1	2	07/07/2022
BRZ_PES_1_1	1	2	07/07/2022
BRZ_PES_1_2	1	2	07/07/2022
BRZ_PES_1_3	1	2	07/07/2022
BRZ_BEN_1_1	1	2	07/07/2022
BRZ_BEN_1_2	1	2	07/07/2022
BRZ_BEN_1_3	1	2	07/07/2022

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
BRZ_E1_S	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_E1_M	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_E1_F	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_1	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_2	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_PES_1_3	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_1	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_2	100	<input checked="" type="checkbox"/>
BRZ_BEN_1_3	100	<input checked="" type="checkbox"/>



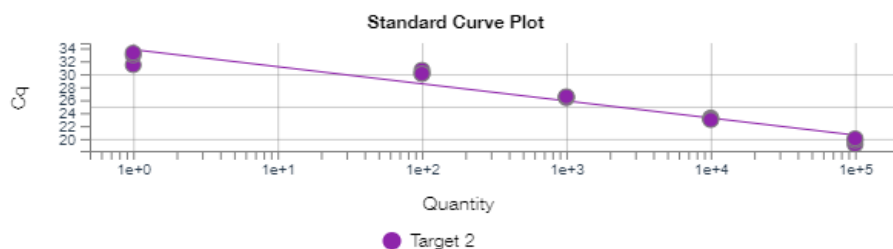
TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
ESPECIE:	<i>Salmo trutta</i> y <i>Anguilla anguilla</i>	
Procedencia:	Brazato	
Código de proyecto:	EC20012	

Detección por PCR

Técnico:	Susana Deus Álvarez
Incidencias:	No

Salmo trutta

qPCR	
Máquina PCR:	Quantum studio 3
R2:	0.939
Recta - Pendiente:	-2.641
Recta - Intercepto	33.797
Conservación:	congelación



Target: Target 2 Slop: -2.641 R²: 0.939 Y-Inter: 33.797 Eff%: 139.11 Error: 0.187

Resultados		
Código	Detección	Concentración (ng/μL)
BRZ_E1_S	+	4053
BRZ_E1_M	+	1837
BRZ_E1_F	+	3313
BRZ_PES_1_1	+	3317
BRZ_PES_1_2	-	<LD
BRZ_PES_1_3	-	<LD
BRZ_BEN_1_1	-	<LD
BRZ_BEN_1_2	-	<LD
BRZ_BEN_1_3	-	<LD
Control negativo PCR	-	

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



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

Anguilla anguilla

	qPCR		
Máquina PCR:	Quantum studio 3		
Conservación:	congelación		

Resultados			
Código	Detección		
BRZ_E1_S	-		
BRZ_E1_M	-		
BRZ_E1_F	-		
BRZ_PES_1_1	-		
BRZ_PES_1_2	-		
BRZ_PES_1_3	-		
BRZ_BEN_1_1	-		
BRZ_BEN_1_2	-		
BRZ_BEN_1_3	-		

Conclusión

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