



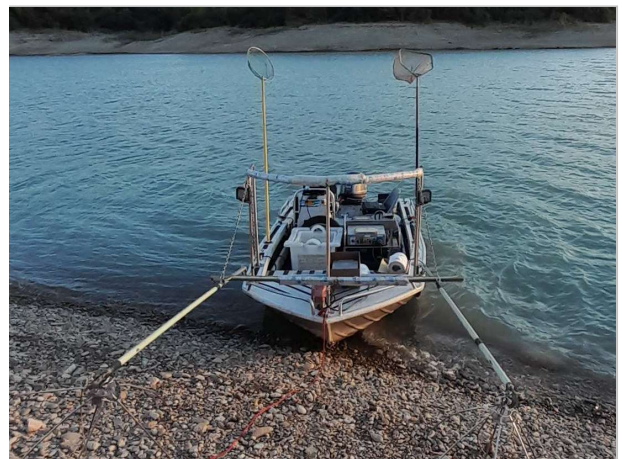
GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO

2022

SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EL FERIAL



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO: EL FERIAL

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SERVICIO:

ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

María José Rodríguez Pérez

EMPRESA CONSULTORA:

ECOHYDROS S.L.



EQUIPO DE TRABAJO:

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

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

114.425,25 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

AÑO DE EJECUCIÓN:

2022

FECHA ENTREGA:

NOVIEMBRE 2022

REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Ejemplar de lucio en El Ferial

Superior derecha: Recula de El Ferial

Inferior izquierda: Técnicos colocando red epipelágica

Inferior derecha: Embarcación de electropesca en orilla

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2022) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Embalse de El Ferial 56 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: EL FERAL. AÑO 2022

El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces en el embalse de El Ferial. Para ello, en septiembre de 2022 se realizó un muestreo cuantitativo de los peces en dicho embalse empleándose 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.

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

*De las siete especies detectadas en los muestreos realizados en el embalse de El Ferial, cinco son alóctonas: alburno (*Alburnus alburnus*), carpa común en su variedad de espejos (*Cyprinus carpio specularis*), gardí (*Scardinius erythrophthalmus*), lucio (*Esox lucius*), y black-bass (*Micropterus salmoides*). Las dos especies autóctonas son madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y gobio (*Gobio lozanoi*).*

*Los resultados determinaron que la asociación está claramente dominada en densidad por el alburno (*Alburnus alburnus*), que representa el 84%. En lo que respecta a la biomasa, el lucio (*Esox Lucius*) domina la asociación con un 69%, seguida por el mismo alburno (21%).*

La densidad estimada fue de $11,86 \pm 1,9$ ind/dam³ y la biomasa de $12,75 \pm 2,05$ g/m², es decir, unos 127,5 kg/ha, que pueden considerarse valores altos en ambos casos.

Los análisis realizados mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) han permitido descartar la presencia de trucha común y de anguila europea.

Se recomienda abordar un programa de retirada de biomasa excedentaria de peces alóctonos.

HYDROACOUSTIC SURVEY IN RESERVOIRS OF THE EBRO RIVER BASIN DISTRICT: EL FERAL RESERVOIR. YEAR 2022

The purpose of this report is to evaluate the abundance and biomass of the fish biocenosis in El Ferial reservoir. For this purpose, in September 2022 a quantitative sampling of fish 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 by means of 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 were the common trout (*Salmo trutta*) and the eel (*Anguilla anguilla*), two native species in decline in the reservoirs of this demarcation.*

*Of the seven species detected in the samples taken in the El Ferial reservoir, five are allochthonous: common carp (*Alburnus alburnus*), common carp in its mirror variety (*Cyprinus carpio specularis*), common rudd (*Scardinius erythrophthalmus*), pike (*Esox lucius*), and black-bass (*Micropterus salmoides*). The two native species are madrilla (*Parachondrostoma miegii*) and Iberian gudgeon (*Gobio lozanoi*).*

*The results determined that the association is clearly dominated in density by the bleak (*Alburnus alburnus*), which represents 84%. In terms of biomass, pike (*Esox Lucius*) dominates the association with 69%, followed by the bleak (21%).*

The estimated density was 11.86 ± 1.9 ind/dam³ and the biomass was 12.75 ± 2.05 g/m², i.e. about 127.5 kg/ha, which can be considered high values in both cases.

The analyses carried out using the most sensitive technique known (eDNA) have made it possible to rule out the presence of common trout and European eel.

It is recommended that a program for the removal of excess biomass of allochthonous fish be undertaken.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES	10
1.1. <i>PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS</i>	11
1.2. <i>INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES</i>	12
2. ÁMBITO DE ESTUDIO	13
2.1. <i>SITUACIÓN</i>	13
2.2. <i>CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA</i>	14
2.3. <i>CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES</i>	16
3. METODOLOGÍA	18
3.1. <i>DISEÑO DEL MUESTREO</i>	19
3.2. <i>MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA</i>	19
3.2.1. <i>Prospección hidroacústica</i>	19
3.2.2. <i>Procesado de datos acústicos</i>	21
3.3. <i>MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA</i>	22
3.3.1. <i>Redes agalleras multipaño</i>	22
3.3.2. <i>Pesca eléctrica desde embarcación</i>	23
3.4. <i>INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES</i>	24
3.5. <i>EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI</i>	25
3.6. <i>DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL</i>	27
3.6.1. <i>Muestreo de ADN ambiental (eDNA)</i>	27
3.6.2. <i>Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua</i>	28
3.6.3. <i>Detección específica de trucha común</i>	28
3.6.4. <i>Detección específica de anguila europea</i>	29
3.6.5. <i>Estimaciones de biomasa</i>	29
4. RESULTADOS	30
4.1. <i>SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES</i>	30
4.1.1. <i>Distribución y estimación de la densidad de peces</i>	31
4.1.2. <i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro</i>	34
4.2. <i>MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA</i>	36
4.2.1. <i>Especies presentes en el embalse</i>	37

4.2.2.	<i>Composición y distribución de especies</i>	38
4.3.	<i>BIOMASA</i>	44
4.3.1.	<i>Distribución y estimación de la biomasa de peces</i>	44
4.3.2.	<i>Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro</i>	46
4.4.	<i>DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES</i>	48
4.5.	<i>MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL</i>	49
4.5.1.	<i>Muestras ambientales de agua</i>	49
4.5.2.	<i>Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i>	49
4.5.3.	<i>Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa</i>	50
5.	VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI	51
6.	CONCLUSIONES	52
7.	GLOSARIO Y ACRÓNIMOS	54
8.	BIBLIOGRAFÍA	56

ÍNDICE ANEXOS

Anexo 1. Especies presentes

Anexo 2. Resultados de las pescas

Anexo 3. Celdas del muestreo hidroacústico (en versión digital)

Anexo 4. Boletines de ensayo eDNA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratos considerados en el embalse de El Ferial	15
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.	22
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI	26
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico	26
Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam ³) por estratos, estimada mediante acústica	31
Tabla 6. Especies presentes en el embalse.....	37
Tabla 7. Ejemplos de las redes utilizadas durante los muestreos directos en El Ferial	38
Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies	39
Tabla 9. Tracks de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos de El Ferial	41
Tabla 10. Resultados de la pesca eléctrica por especies	41
Tabla 11. Biomasa de peces por estratos (g/m ²) estimada mediante acústica	44
Tabla 12. Densidades (ind/dam ³) y biomásas (g/m ²) por especie	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Técnico realizando la toma de parámetros físico-químicos.....	12
Figura 2. Situación del embalse de El Ferial.....	13
Figura 3. Batimetría de El Ferial.....	15
Figura 4. Perfiles físico-químicos de Embalse de El Ferial (FER22_S1PRO1).....	17
Figura 5. Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse	18
Figura 6. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico	20
Figura 7. Colocación de red bentónica en el embalse de El Ferial.....	23
Figura 8. Equipo de electropesca desde embarcación en El Ferial.....	24
Figura 9. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial	25
Figura 10. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de El Ferial.....	27
Figura 11. Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de El Ferial	30
Figura 12. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz horizontal en el embalse de El Ferial	31

Figura 13. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).....	33
Figura 14. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	35
Figura 15. Fotografías de las labores de muestreo en El Ferial	36
Figura 16. Ejemplar de alburno infectado con el parásito <i>Ligula intestinalis</i>	38
Figura 17. Composición de la asociación obtenida mediante redes.....	39
Figura 18. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm.....	40
Figura 19. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica.....	42
Figura 20 . Ejemplares de las especies capturadas en El Ferial	43
Figura 21. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo).....	45
Figura 22. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	47
Figura 23. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN.	49
Figura 24. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada.	50

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en El Ferial (Bardenas Reales) 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 en El Ferial, 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 además una inmejorable 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 se ha promovido el presente estudio.

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

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

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

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

Este tipo de problemas se ponen especialmente de manifiesto en situaciones de sequía y bajas reservas de agua en los embalses, y las técnicas hidroacústicas permiten obtener la información básica necesaria mediante procedimientos ya muy afianzados, como se puede



constatar en los tratados técnicos (Simmonds & MacLennan, 2005) y en las normas estándar existentes (ver más adelante).

Figura 1. Técnico realizando la toma de parámetros físico-químicos

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. SITUACIÓN

El Ferial (MAS 1801) se localiza en el término municipal de Bardenas Reales, en la Comunidad Foral de Navarra, regulando las aguas del río de la Fuente de El Ferial. La presa se acabó de construir en el año 1992 y el uso principal del agua embalsada es agrícola para el mantenimiento de los cultivos de regadío. Está gestionado por la Comunidad de Regantes de El Ferial. El embalse cuenta con una zona de recreo, con servicio de restaurante, en la que la actividad predominante es la pesca.

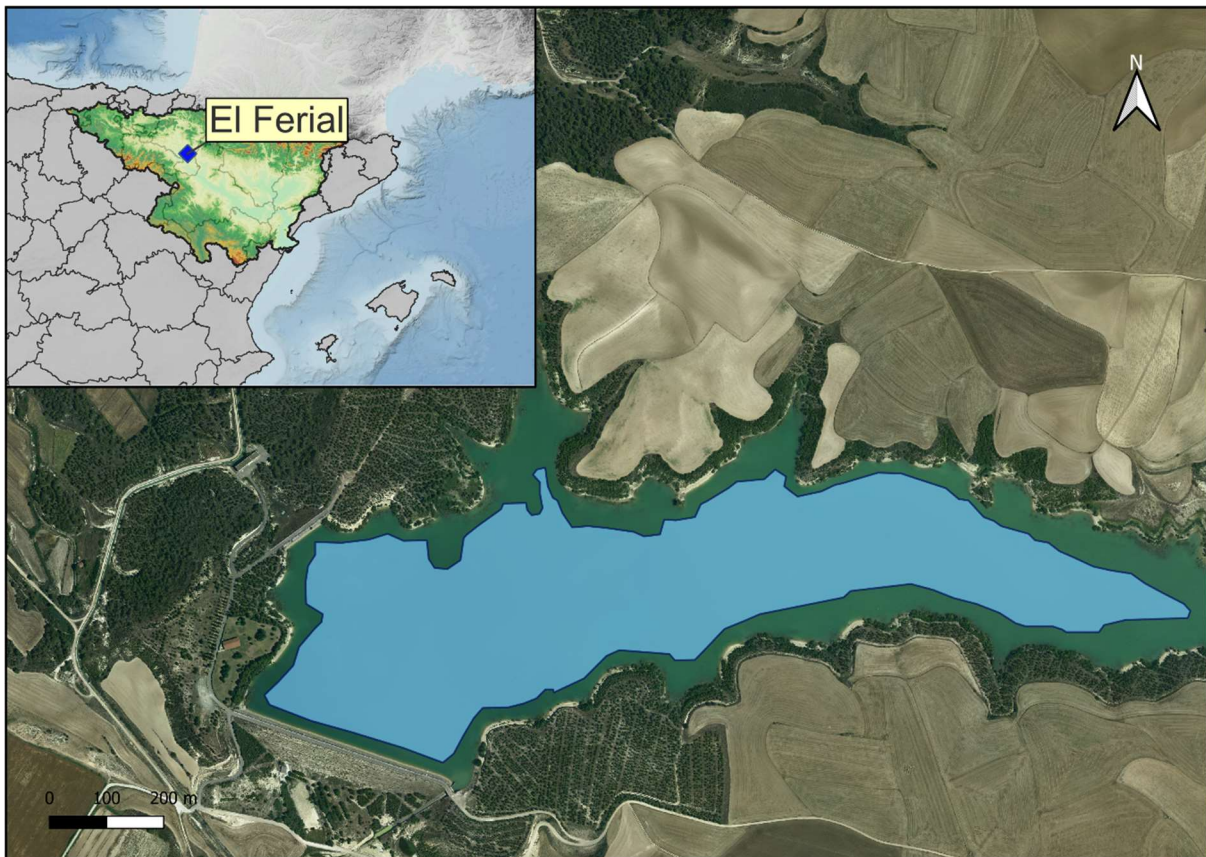


Figura 2. Situación del embalse de El Ferial

Esta masa de agua es de naturaleza artificial y asimilable a la categoría de lagos y se incluye en el registro de Zonas Protegidas (artículo 6 de la DMA) en la tipología de zonas de extracción de aguas para consumo y zonas de protección de hábitats o especies (Punto Red Natura 2000: LIC ES2200037 Bardenas Reales). Además, se encuentra dentro de una reserva de la biosfera, Las Bardenas Reales de Navarra.

2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

Según el inventario nacional de presas y embalses, el embalse de El Ferial tiene una capacidad máxima de 8,09 hm³ y ocupa en su nivel máximo normal (391,3 msnm) una superficie de 69,5 ha, lo que supone una profundidad media de 9,8 m y máxima de 22,5 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 3 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 (26-27 de septiembre de 2022) una profundidad media de 5,5 m y máxima de 13 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 382 msnm, que según la hipsometría generada corresponde a un volumen de 2,1 hm³, es decir se encontraba al 24% de su capacidad máxima.

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

En este caso se ha aplicado el MNDWI, que es uno de los métodos útiles para identificar zonas encharcadas y cuerpos de agua. Supera algunas deficiencias del NDWI para esta finalidad, mediante el uso de la banda de infrarrojos de onda corta, que reemplaza a la banda de infrarrojo cercano del NDWI.

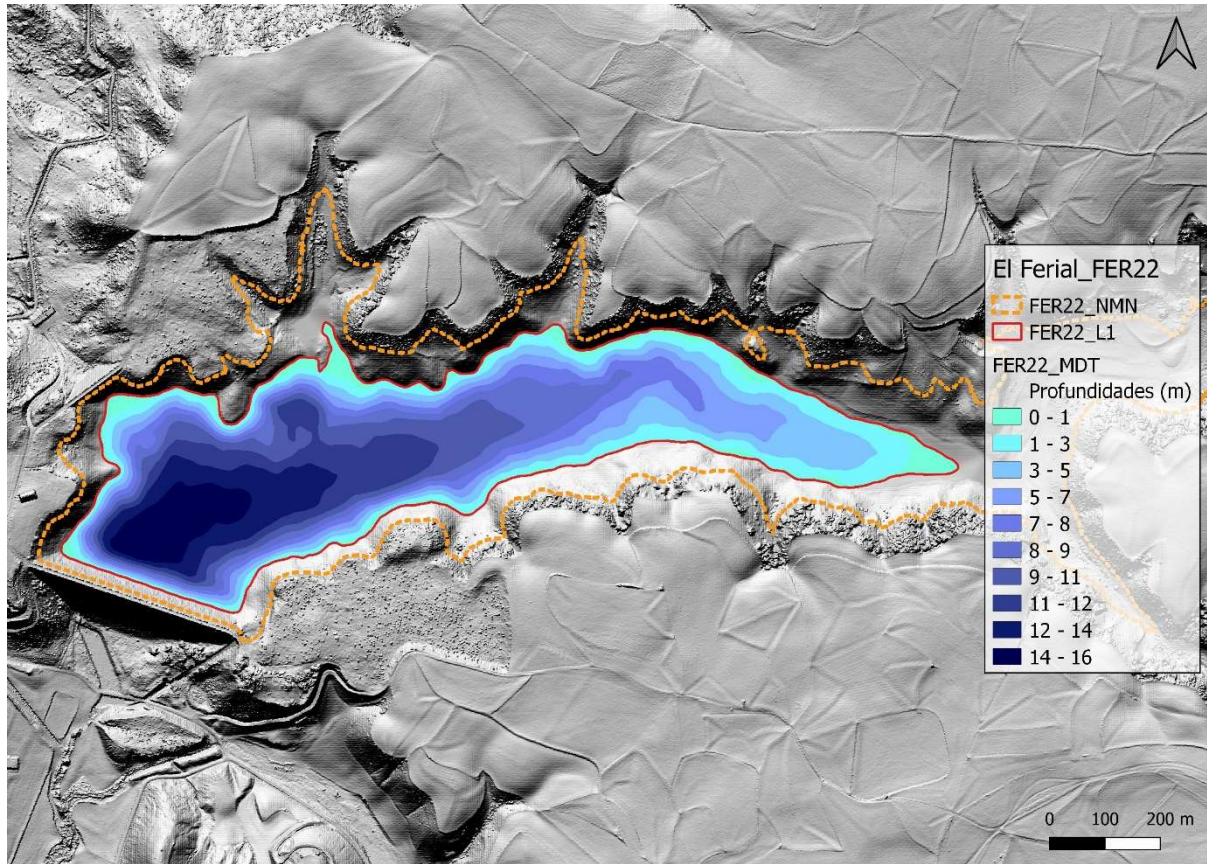


Figura 3. Batimetría de El Ferial

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 embalse de El Ferial

Código embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
FER22	1	1	0 a 5	1,35	35,3
		2	5 a 13	0,72	18,3

2.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL EMBALSE. PERFILES VERTICALES

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

En la Figura 4 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 (FER22_S1PRO1).

El perfil físico-químico se llevó a cabo en el vaso principal del embalse de El Ferial, cercano a la presa, coincidiendo con la zona más profunda. La profundidad máxima en ese punto es de 10 metros. La columna de agua durante el día de muestreo se encontraba homogéneamente mezclada, sin indicios de estratificación. Las condiciones de oxigenación de la columna de agua son aceptables, manteniendo una concentración promedio de 7,6 mg/L, con un descenso del oxígeno disuelto cerca del fondo, posiblemente provocado por la penetración de la sonda en la interfase agua/sedimento.

El pH es ligeramente básico y constante con el incremento de profundidad siendo su valor promedio de 8,43 unidades de pH. La transparencia del agua registrada en la lectura del disco Secchi es de 1 m, lo que supone una profundidad de la capa fótica que no abarca toda la columna de agua, limitando su extensión hasta los 2,5 metros. Este espesor de la capa fótica es congruente con los valores observados de turbidez que comienzan a incrementarse a partir de los 2,5 metros de profundidad, pasando de los 15 NTUs registrados en superficie a los 26 NTUs registrados a los 10 metros de profundidad, de nuevo, seguramente provocado la incursión en la interfase agua/sedimento.

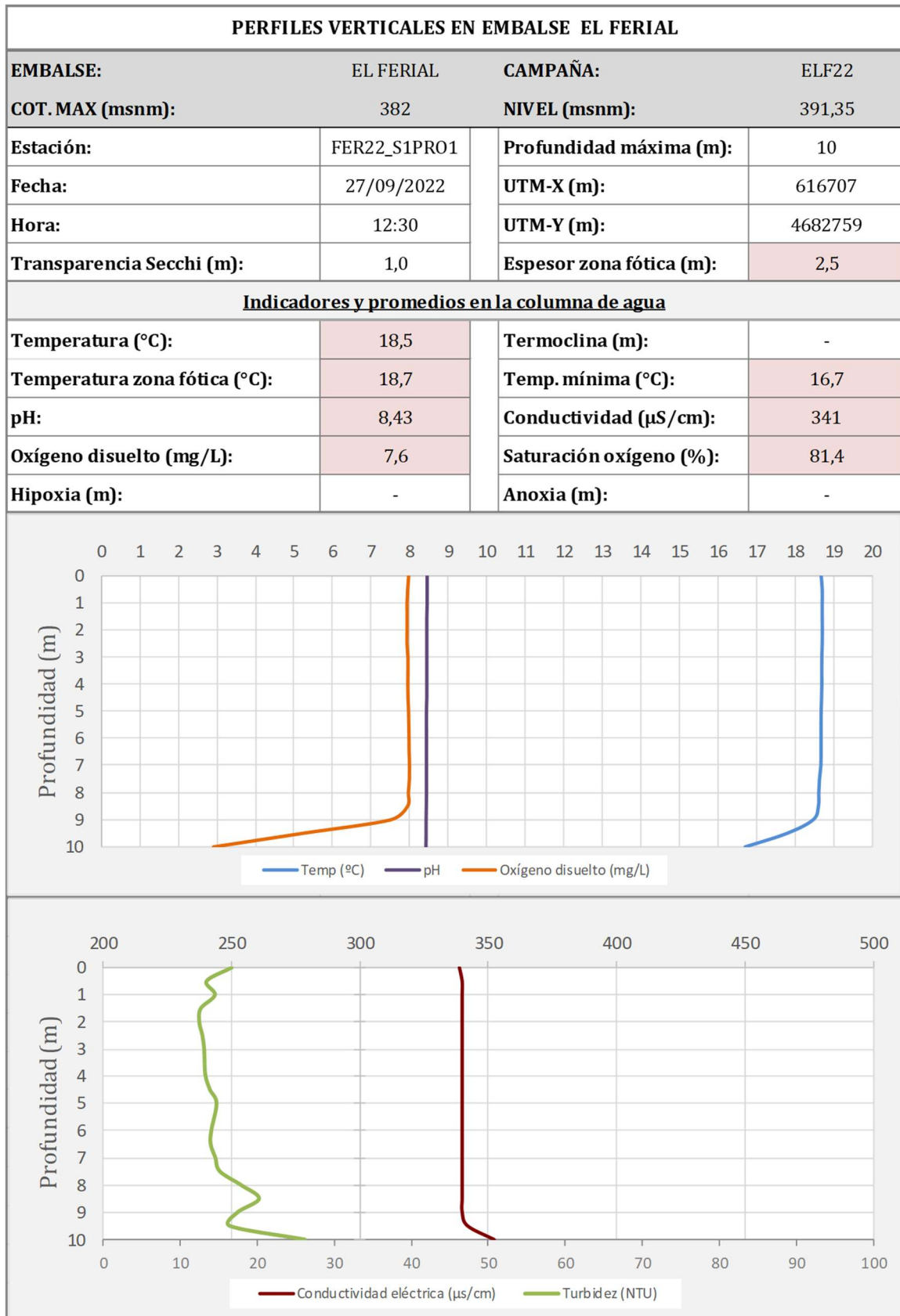


Figura 4. Perfiles físico-químicos de Embalse de El Ferial (FER22_S1PRO1)

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 5, 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

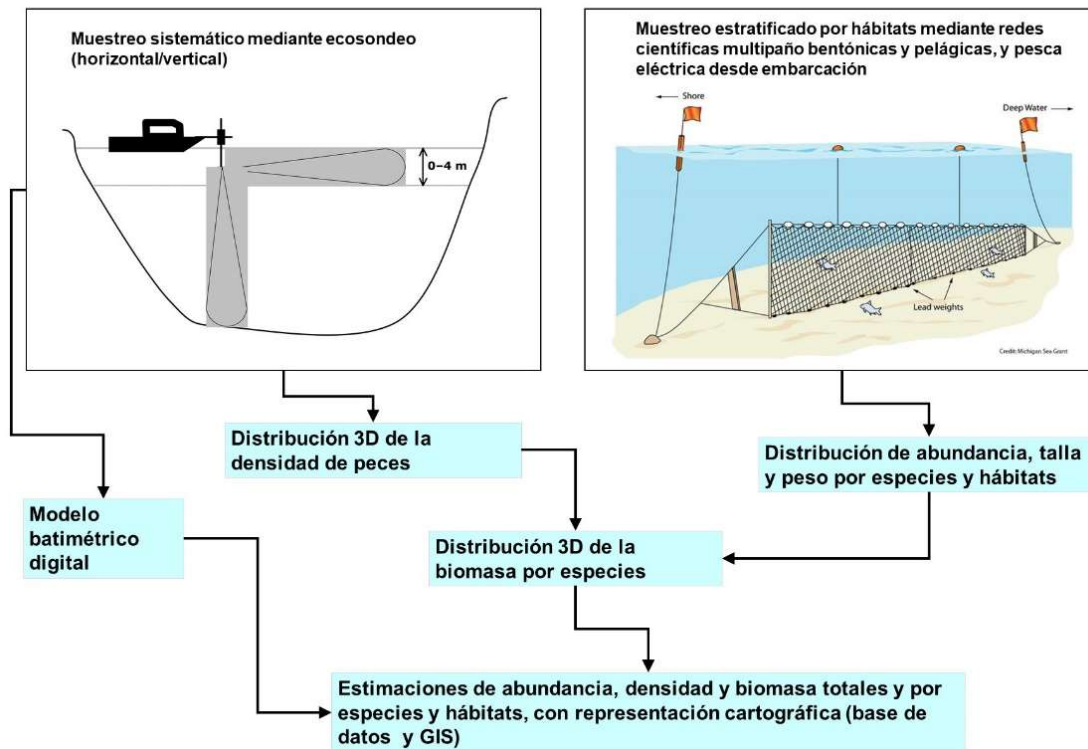


Figura 5. Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

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

3.1. DISEÑO DEL MUESTREO

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

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

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

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

Los muestreos acústicos y de pesca directa se han realizado simultáneamente entre los días 26 y 27 de septiembre 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.

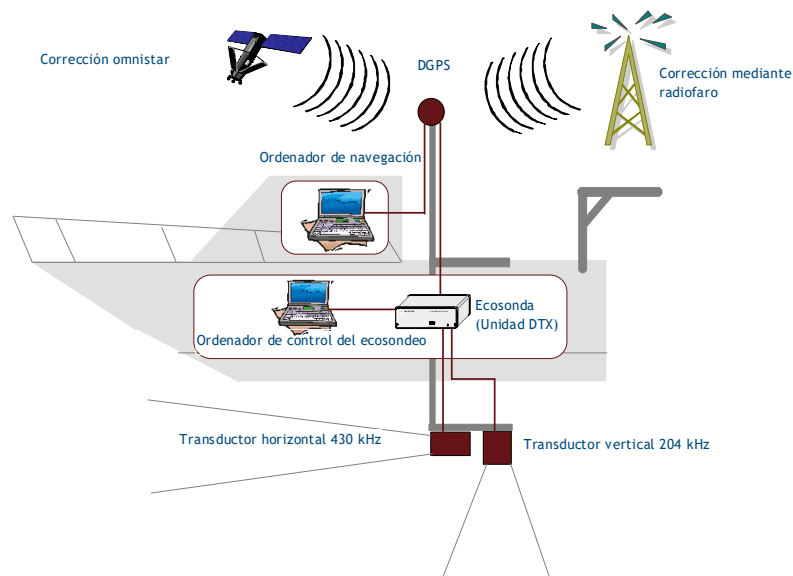


Figura 6. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico

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

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

3.2.2. Procesado de datos acústicos

Se ha empleado una combinación de las técnicas de detección de ecos (ecoconteo y recuento de rastros) y de eointegración. 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 eointegración, se estima la intensidad acústica de una agrupación de peces y se asigna una intensidad media por individuo.

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

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

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

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

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

3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA

3.3.1. Redes agalleras multipaño

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

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

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

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

Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.

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

La unidad estándar de esfuerzo de pesca está constituida por una red de 12 paños y 1,5 m de altura (45 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 7. Colocación de red bentónica en el embalse de El Ferial

3.3.2. Pesca eléctrica desde embarcación

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

Para la pesca eléctrica se utilizó una embarcación de aluminio de 4 m eslora propulsada por un motor de cuatro tiempos de 30 HP, con una instalación fija consistente en dos plumas situadas en la proa de las que cuelgan los ánodos, y una barandilla donde se sitúa el operario que recolecta los peces. El equipo de pesca utilizado fue el Hans-Grassl GmbH EL 65 II GI (13 kW). La embarcación está provista, además, de tanques oxigenados para el mantenimiento de los peces vivos y en buenas condiciones.

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



Figura 8. Equipo de electropesca desde embarcación en El Ferial

3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES

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

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

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

Para ello en primer lugar se ha ajustado una curva al semivariograma (ver ejemplo en la Figura 9) y en base a ese modelo, se ha procedido al interpolado propiamente dicho mediante *kriging* ordinario. Con ello se obtiene una superficie continua de densidad o biomasa que permite, además de visualizar las zonas de mayor concentración de peces, realizar estimaciones poblacionales.

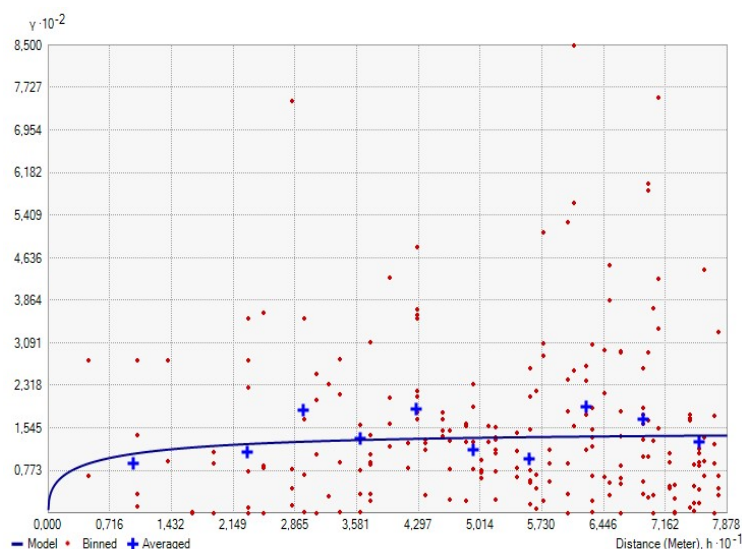


Figura 9. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

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

- Upper Open Water (UOW): Estrato superior (L1)
- Lower Open Water (LOW): Estrato inferior (L2)

3.5. EVALUACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE BIÓTICO QFBI

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

Esta aproximación a un índice de calidad basado en los peces se denominó QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*). Para su desarrollo se siguió una metodología en la línea de la adoptada por el grupo europeo de intercalibración y que consiste en emplear como variable dependiente una medida del grado de presión al que está sometido el embalse (*Global Pressure Index*) y como variables independientes las métricas calculadas a partir de los datos cuantitativos de peces.

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

Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI

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

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

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

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

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

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

3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE ADN AMBIENTAL

3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)

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

En la Figura 10 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.

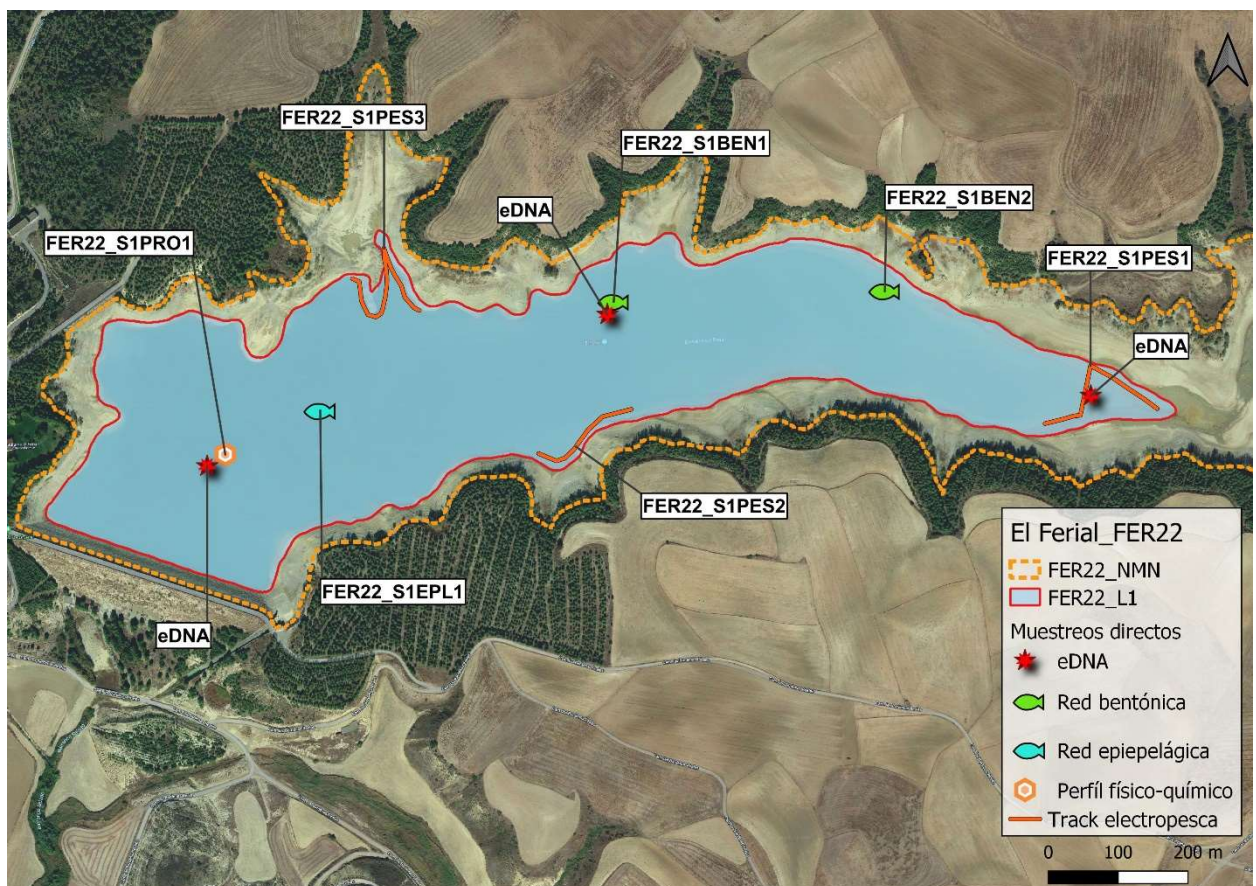


Figura 10. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de El Ferial

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

Para aislar el ADN presente en el agua del embalse fue preciso filtrar las muestras con bombas de presión negativa y filtros de 0,2 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 marcador genético universal del gen ribosomal 18S. Esto permite por un lado confirmar la presencia de ADN en las muestras, ya que este marcador 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 marcador 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 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 igual que el previamente descrito para *Salmo trutta*; se une y amplifica únicamente el ADN de anguila, pero no el de otros organismos.

3.6.5. Estimaciones de biomasa

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

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

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

4. RESULTADOS

4.1. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 7,5 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 13. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 11.

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

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

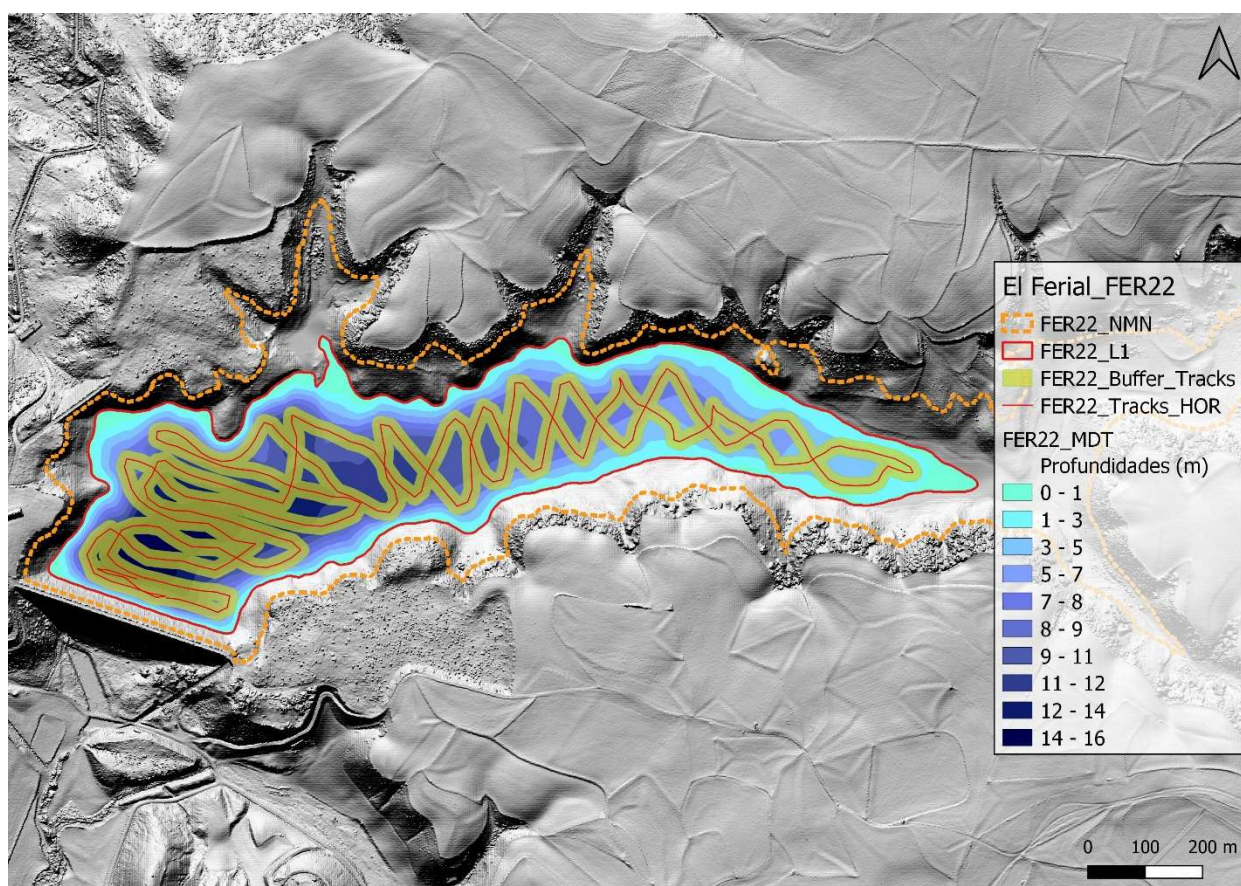


Figura 11. Recorridos del sondeo hidroacústico en el embalse de El Ferial

En la Figura 12 se muestra un ejemplo de ecograma registrado durante el muestreo acústico en el embalse de El Ferial, realizado con haz horizontal hasta una distancia máxima de la

embarcación de 30 metros. Se aprecia en la esquina inferior izquierda una zona de reverberación del sonido al incidir parcialmente en la orilla/fondo o zona de choque del haz (por debajo de la línea negra que separa la zona de análisis de la de fondo. En la zona azul (libre de reverberaciones), se puede ver una profusión de señales de peces de diferentes tallas.

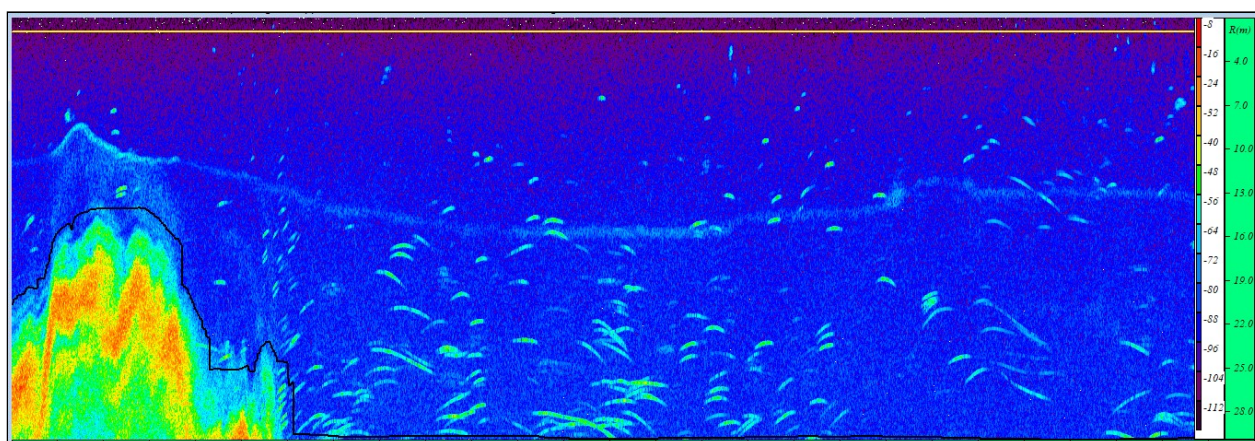


Figura 12. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz horizontal en el embalse de El Ferial

4.1.1. Distribución y estimación de la densidad de peces

En la Tabla 5 se ofrecen los estadísticos descriptivos de la densidad en cada uno de los dos estratos diferenciados en este embalse. La densidad se ha expresado en individuos por decámetro cúbico ($1 \text{ dam}^3 = 1.000 \text{ m}^3$).

Tabla 5. 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
FER22	1	L1	0,23	13	123	137	1,2
		L2	1,26	8	48	66	1,7

Se ha obtenido una densidad total del embalse de $11,86 \pm 1,9 \text{ ind/dam}^3$. Se trata de un valor alto, propio de sistemas productivos y de embalses con carácter eutrófico.

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



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

La densidad de peces es sensiblemente más alta en el estrato inferior (L2) que en el superior (L1), pero en ambos casos se aprecia una concentración importante una zona cercana a la presa por la margen derecha del embalse. En el estrato superior se presentan también valores altos de densidad en la zona posterior del embalse, de aguas más someras.

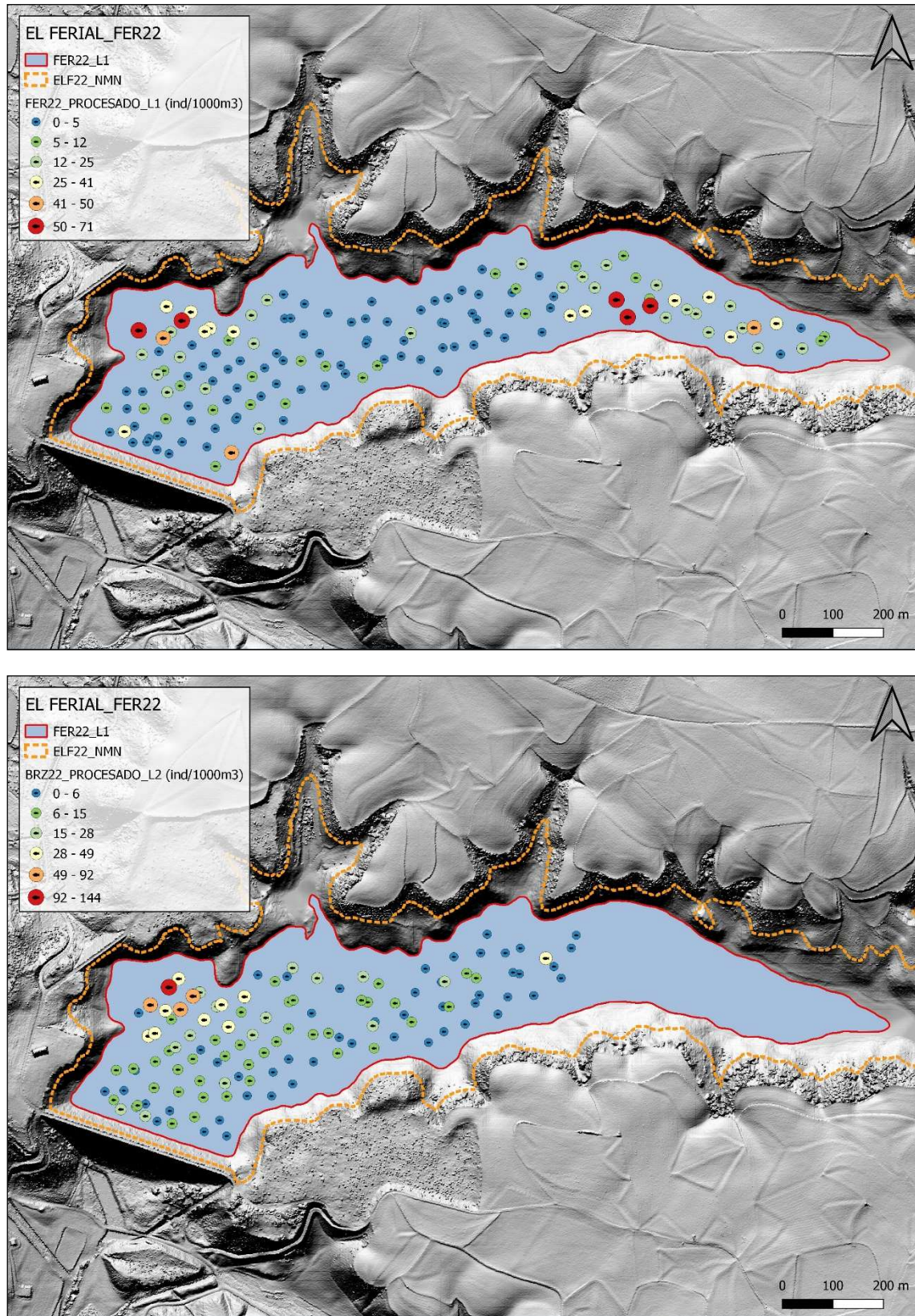


Figura 13. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo)



4.1.2. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de densidad obtenidos en el embalse de El Ferial, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro donde se ha trabajado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos.

La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados, en la que el embalse Utchesa Seca constituye un extremo por el lado superior. La densidad de peces en el embalse de El Ferial se acerca al valor promedio de los datos disponibles se sitúa en el percentil 85, es decir, solamente 7 embalses de la serie de unos 60 casos presentan valores de densidad más elevados que los de El Ferial.



Densidad (ind/1000m³)

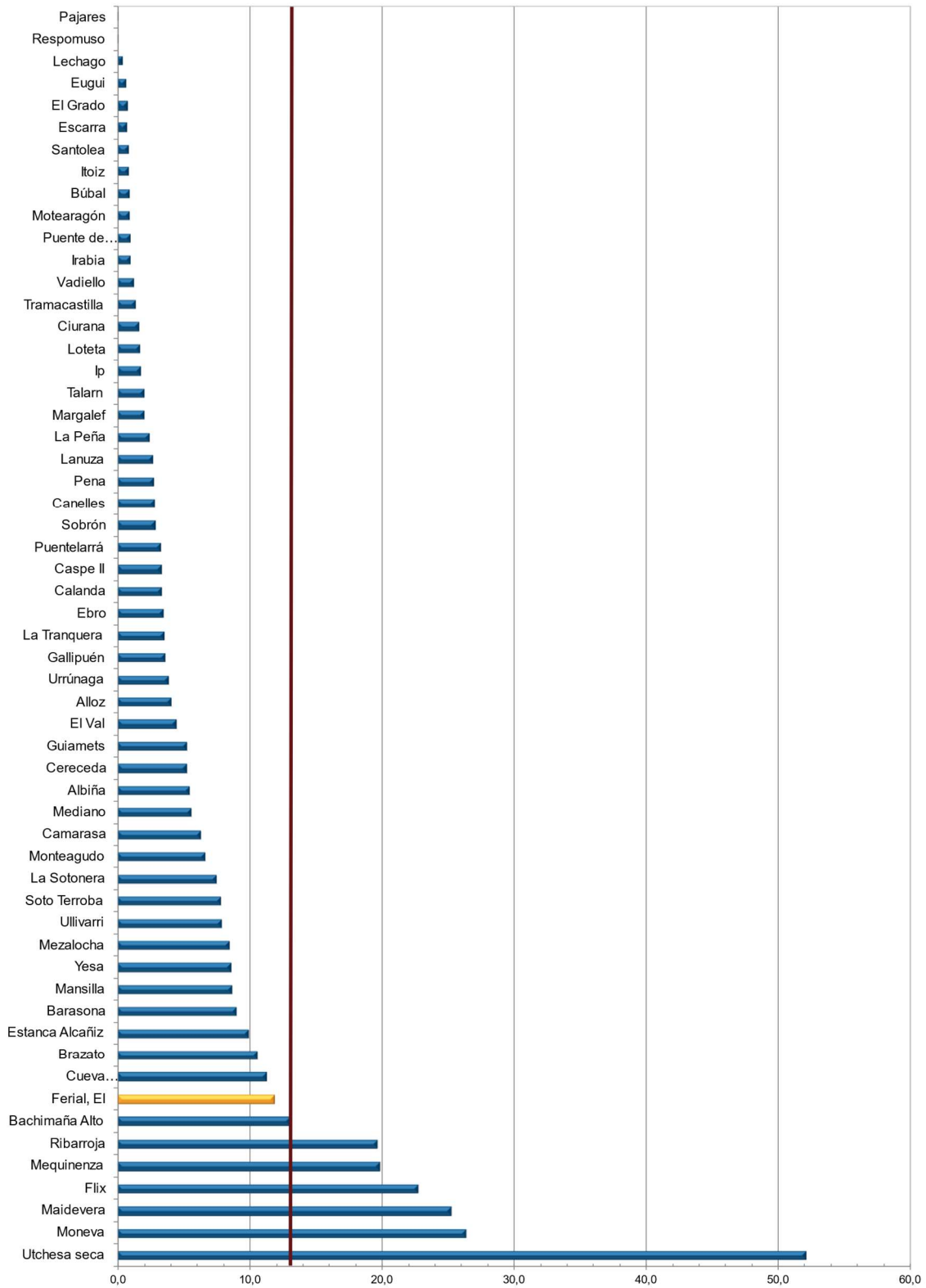


Figura 14. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro

4.2. MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA

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



Vista panorámica de El Ferial



Rampa de acceso al embalse



Técnico colocando red epipelágica en el vaso principal



Embarcación de hidroacústica durante navegación



Técnicos realizando electropesca de orilla



Ejemplar de *Esox lucius* en red epipelágica

Figura 15. Fotografías de las labores de muestreo en El Ferial

4.2.1. Especies presentes en el embalse

De las siete (7) especies detectadas en los muestreos de diferente tipo realizados en El Ferial, sólo dos de ellas se tratan de especies autóctonas, el gobio (*Gobio lozanoi*) y la madrilla (*Parachondostroma mieggi*).

Tabla 6. Especies presentes en el embalse

Nombre científico	Nombre común	Autóctono/alóctono
<i>Alburnus alburnus</i>	Alburno	Alóctono
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	Carpa de espejos	Alóctono
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	Gardí	Alóctono
<i>Gobio lozanoi</i>	Gobio	Autóctono
<i>Esox lucius</i>	Lucio	Alóctono
<i>Parachondrostoma miegii</i>	Madrilla	Autóctono
<i>Micropterus salmoides</i>	Perca americana/Black bass	Alóctono

Se trata de una biocenosis completamente alterada, ya que está compuesta en una proporción elevada por especies exóticas invasoras, de la familia de los ciprínidos, hay representación de varias especies como el alburno, carpa o gardí, así como especies netamente depredadoras como el black bass y el lucio.

En las comunidades de peces encontradas en El Ferial, se puede apreciar que algunos individuos de alburnos (*Alburnus alburnus*), presentaban parasitosis internas causadas por el plerocercario del cestodo *Ligula intestinalis*. Dicho parásito es ingerido por el pez en forma de procercoide en el interior de un copépodo, donde se desarrolla y genera atrofias en el hígado y las gónadas, inhibiendo la actividad reproductiva de la especie (castración parasitaria). Estas alteraciones provocan modificaciones en la natación y la flotabilidad del individuo, convirtiéndolo en objetivo fácil para las aves acuáticas (hospedadoras finales de la *Ligula intestinalis*).



Figura 16. Ejemplar de alburno infectado con el parásito *Ligula intestinalis*

4.2.2. Composición y distribución de especies

Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 193 ejemplares, con un peso total de 5,14 kg, lo que supone 196 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 3,8 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 3 redes en 15 horas de pesca (2,35 unidades de esfuerzo). En la Figura 10, se representa la ubicación de las redes de muestreo y los recorridos de pesca eléctrica.

Tabla 7. Ejemplos de las redes utilizadas durante los muestreos directos en El Ferial

Tipo de lance	Código	Número de paños	Longitud (m)	Altura (m)	Esfuerzo
Red bentónica	FER22_S1BEN2	16	40	1,5	0,70 45m ² /12h
Red epipelágica	FER22_S1EPL1	16	40	6	1,65 45m ² /12h

En la Tabla 8 y en la Figura 17 se facilitan los resultados obtenidos de las redes, agregados por especies y para cada uno de los estratos del embalse.

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

Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies

	Capturas	CPUE (ind/ud. esf.)	CPUE (%)	Biomasa (g)	BPUE (g/ud. esf.)	BPUE (%)	Longitud furcal media (mm)	Peso medio (g)
<i>Alburnus alburnus</i>	166	178	91,1	1.851	1812	47,2	98	11
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	1	1	0,3	35	21	0,5	115	35
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	10	7	3,5	865	532	13,9	146	86
<i>Gobio lozanoi</i>	12	7	3,8	35	22	0,6	57	3
<i>Esox lucius</i>	1	1	0,3	2240	1382	36,0	701	2240
<i>Parachondrostoma miegii</i>	2	1	0,6	109	66	1,7	159	54
<i>Micropterus salmoides</i>	1	1	0,3	8	5	0,1	76	8
Total	193	196	100,0	5.143	3840	100,0	102	27

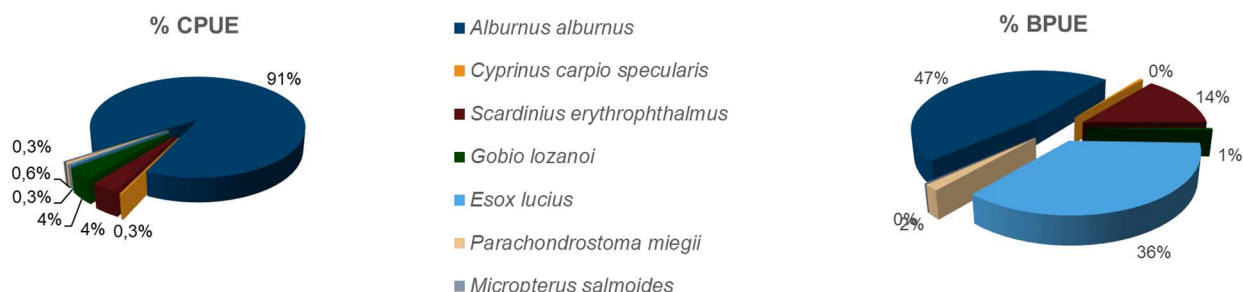


Figura 17. Composición de la asociación obtenida mediante redes

Se observa que la asociación está dominada (91%) en términos de abundancia por el alburno (*Alburnus alburnus*), seguida con un porcentaje inferior por el escardino (*Scardinius erythrophthalmus*) y el gobio (*Gobio lozanoi*), ambas especies con un 4% de representación. El alburno (*Alburnus alburnus*) es también la especie dominante en términos de biomasa (47%), seguido del lucio (*Esox lucius*) con un 36% a pesar de capturarse sólo cuatro ejemplares. Le sigue el escardino (*Scardinius erythrophthalmus*) con un 14%.

En la Figura 18 se muestran los histogramas de frecuencias de las capturas por clases de talla de 5 mm. Se han incluido las capturas realizadas mediante pesca eléctrica, cuyos resultados se exponen en el apartado siguiente.

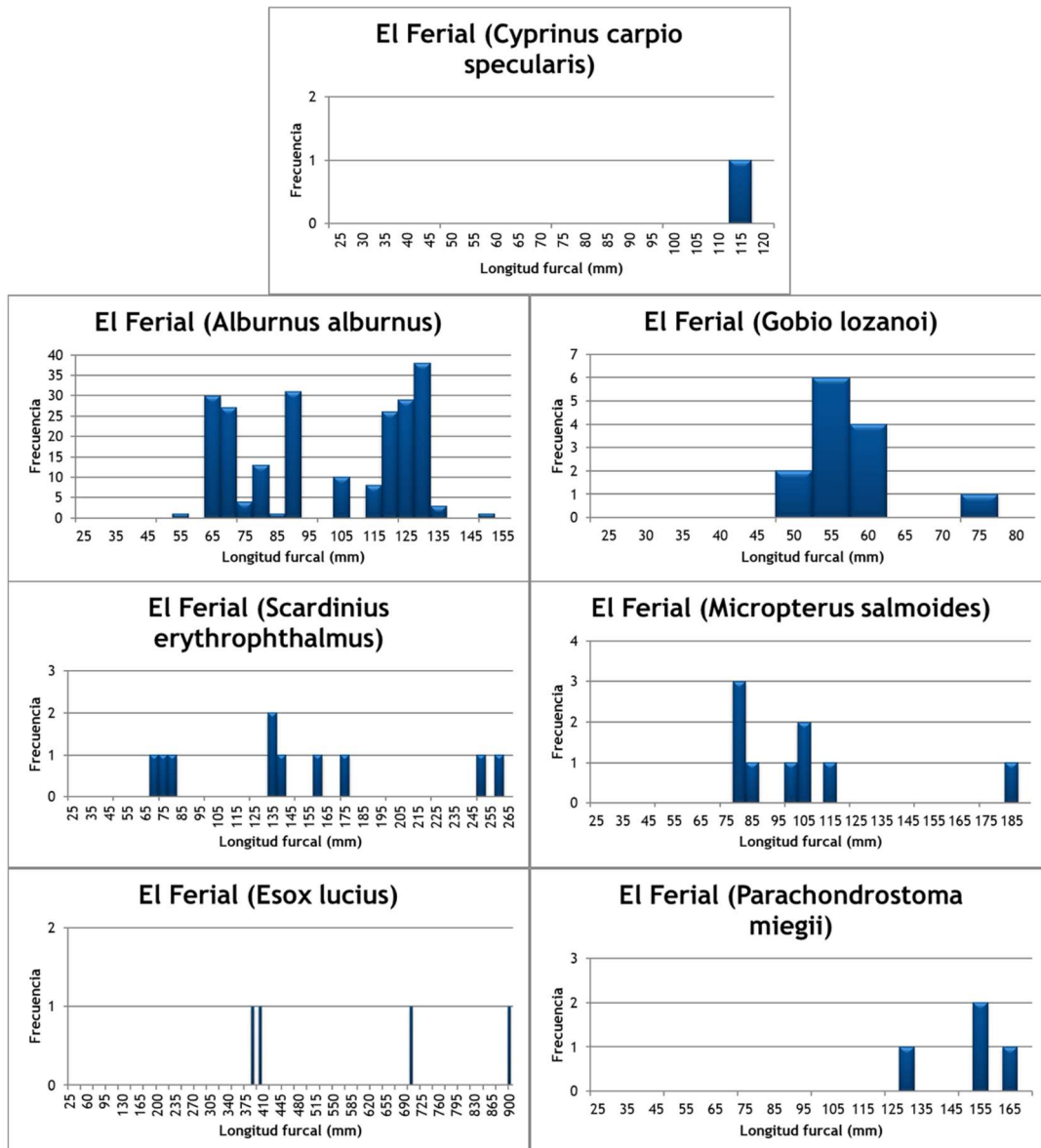


Figura 18. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm

De las 7 especies capturadas en el embalse de El Ferial, solamente el alburno (*Alburnus alburnus*) y el escardino (*Scardinius erythrophthalmus*) presentan poblaciones estructuradas, con ejemplares de todas las clases de edad. En cambio, las capturas de madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y gobio (*Gobio lozanoi*) carecen de ejemplares jóvenes.

Resultados de la pesca eléctrica

El rendimiento de la pesca eléctrica fue inferior al de las redes, con una captura total de 70 peces con un peso total de 7,18 kilos, lo que supone 31,3 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 2,87 kg de BPUE. Se realizaron un total de cinco transectos que cubrieron 0,68 km de orilla.

Tabla 9. Tracks de pesca eléctrica realizados durante los muestreos directos de El Ferial

Tipo de lance	Código	Esfuerzo
Pesca eléctrica	FER22_S1PES1	239 m
Pesca eléctrica	FER22_S1PES2	164 m
Pesca eléctrica	FER22_S1PES3	281 m

La ubicación de los transectos de muestreo de electropesca se puede observar en el mapa de la Figura 10 y en el boletín de campo del Anexo I, donde se presenta además la ubicación de las redes.

En la tabla siguiente se facilitan los resultados obtenidos, agregados por especies. Se capturaron un total de 5 especie, dos menos de las que se detectaron con las redes agalleras.

Tabla 10. 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>Alburnos alburnus</i>	56	24,0	76,7	747	319,0	11,1	103	13
<i>Gobio lozanoi</i>	1	0,4	1,3	2	0,8	0,0	55	2
<i>Esox lucius</i>	3	1,6	5,1	6.204	2.443,6	85,1	565	2.068
<i>Parachondrostoma miegii</i>	2	0,8	2,7	65	27,2	0,9	140	33
<i>Micropterus salmoides</i>	8	4,4	14,2	162	79,5	2,8	105	20
Total	70	31,3	100,0	7.180	2.870,2	100,0	123	103

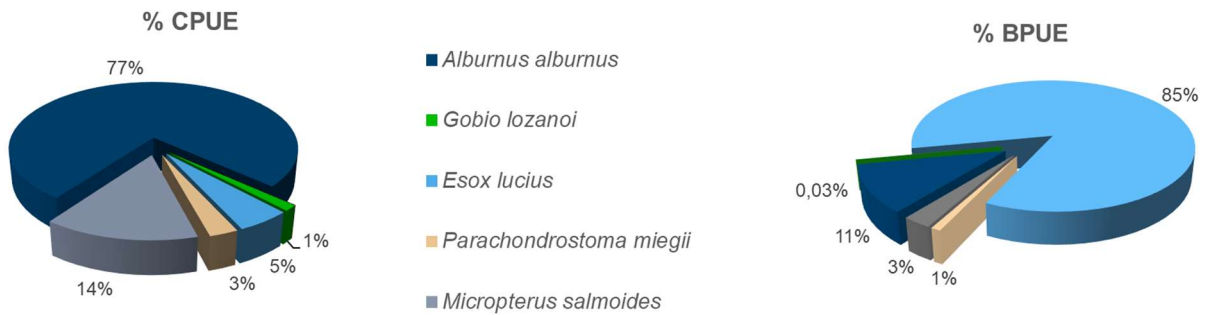


Figura 19. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

Al igual que ocurre en los muestreos realizados con redes agalleras, la asociación detectada con la técnica de electropesca desde embarcación está dominada en términos de abundancia por el alburno (*Alburnus alburnus*) (77%).

Sin embargo, el lucio (*Esox lucius*) supera en biomasa (85%) al alburno (*Alburnus alburnus*) (11%), a diferencia de lo que ocurría en las capturas con red. Este resultado refleja la preferencia del alburno por las aguas libres más alejadas de la orilla, como es habitual en los embalses colonizados por esta especie, y la del lucio por las zonas más someras que les permiten acechar y emboscar a las presas.



Escardino (*Scardinius erythrophthalmus*)



Gobio (*Gobio lozanoi*)



Madrilla (*Parachondrostoma miegii*)



Alburno (*Alburnus alburnus*)



Black bass (*Micropterus salmoides*)



Lucio (*Esox lucius*)



Carpa común (*Cyprinus carpio*)

Figura 20 . Ejemplares de las especies capturadas en El Ferial

4.3. BIOMASA

4.3.1. Distribución y estimación de la biomasa de peces

A partir de los datos obtenidos mediante las dos técnicas de prospección (hidroacústica y muestreo directo), se integran los resultados para obtener las estimaciones de densidad y biomasa por especies para el conjunto del sistema (Tabla 11).

Tabla 11. 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
FER22	1	1	3,50	22	149	5	4,40
		2	17,80	204	119	36	37,58

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomásas de cada uno de los estratos y refiriéndolo a la superficie del embalse. De esta manera se obtiene una biomasa media de $12,75 \pm 2,05 \text{ g/m}^2$, o lo que es lo mismo $127,5 \text{ kg/ha}$. Se trata de un valor alto de biomasa, compatible con un carácter eutrófico de la masa de agua.

En la Figura 21 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.

Al igual que ocurre con la densidad, la biomasa media es unas 5 veces superior en el estrato inferior (L2) que en el superior (L1). Se aprecia que los valores de biomasa más altos se distribuyen periféricamente, en zonas cercanas a las riberas, especialmente en la margen derecha, y las celdas con mayor biomasa se concentran en la zona cercana a la presa. En el estrato superior, la distribución espacial de la biomasa es muy similar a la de densidad, con dos zonas preferentes, una en la margen derecha en las cercanías de la presa, y otra en la zona de cola más somera.

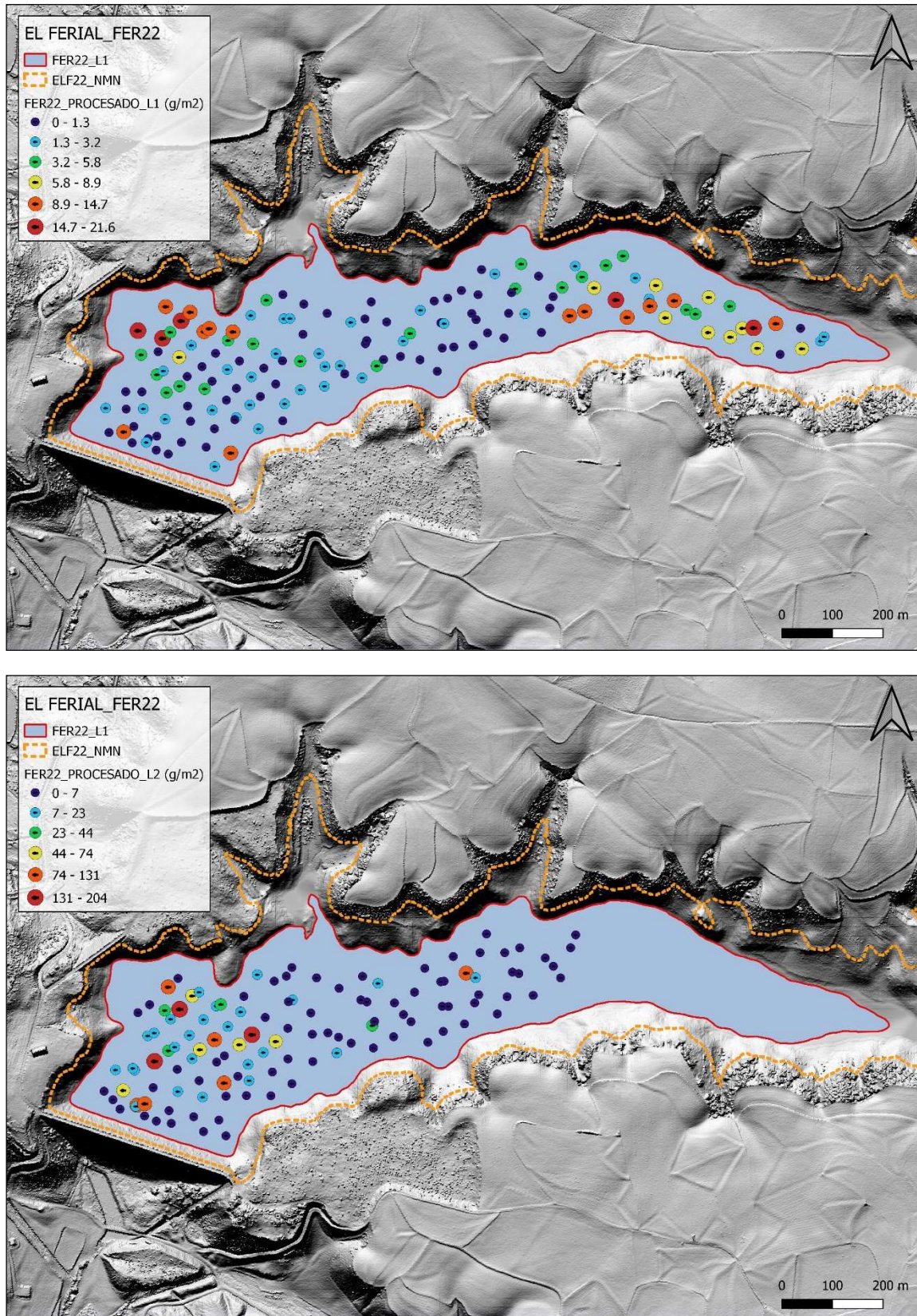


Figura 21. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en los estratos superior (arriba) e inferior (abajo)



4.3.2. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de biomasa obtenidos en embalse de El Ferial, en comparación con otros embalses de la cuenca del Ebro cuyas poblaciones de peces se han evaluado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos de densidad y biomasa. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados. Como puede apreciarse, la biomasa en este embalse presenta un valor alto en el contexto de los embalses estudiados en la cuenca del Ebro, y se sitúa en un percentil similar al de la densidad (P86).

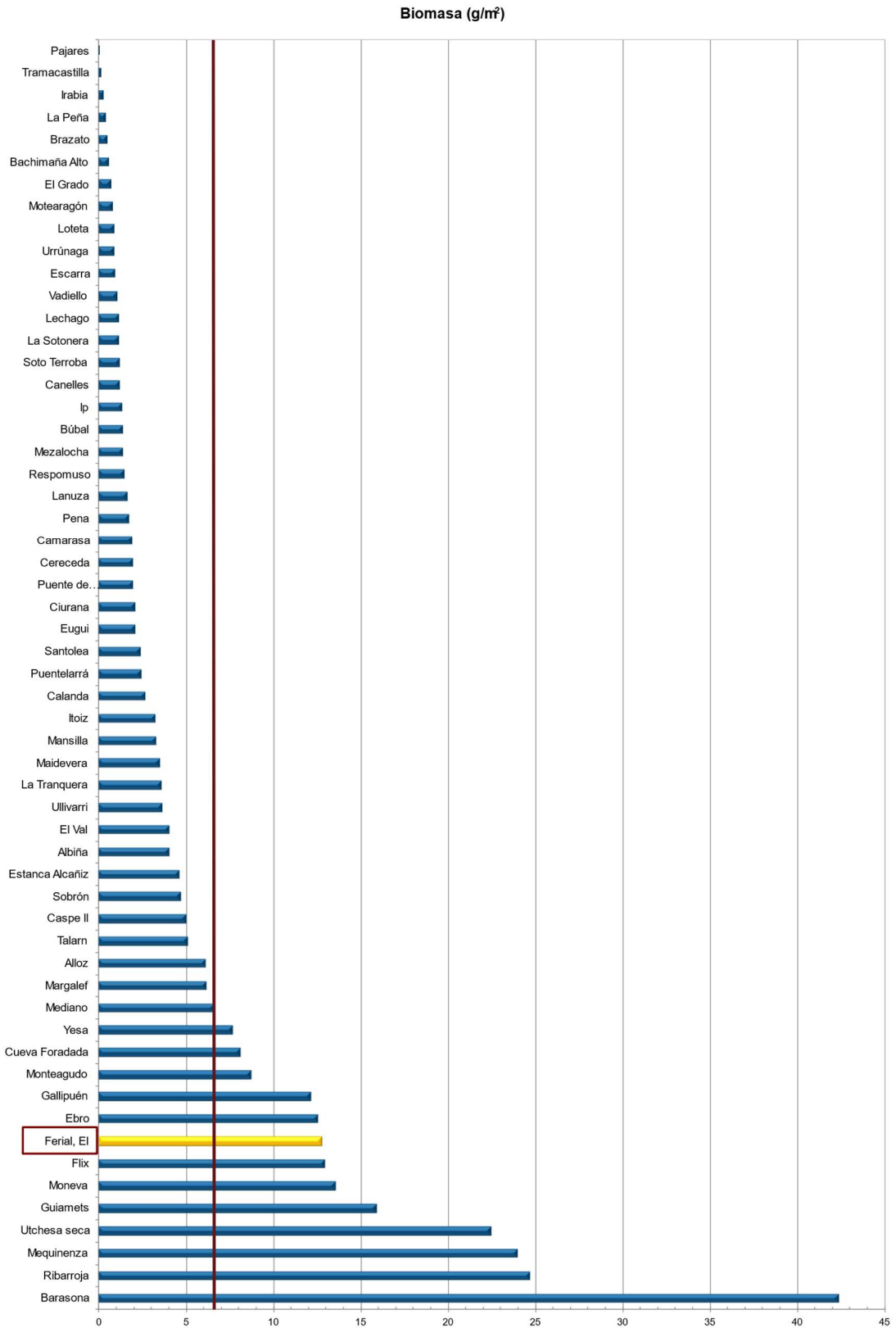


Figura 22. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro

4.4. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

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

En la Tabla 12 se ha calculado la densidad y biomasa relativas por especie, referidas a volumen (dam³) y superficie (m²) respectivamente, para el conjunto del embalse.

Tabla 12. Densidades (ind/dam³) y biomاسas (g/m²) por especie

	Densidad media (ind/dam ³)	Abundancia (%)	Abundancia Total (ind)	Biomasa media (g/m ²)	Biomasa (%)	Peso total (kg)
<i>Alburnus alburnus</i>	10,01	84,4%	20.710	2,69	21,1%	947
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	0,05	0,4%	93	0,04	0,3%	13
<i>Micropterus salmoides</i>	0,41	3,4%	840	0,18	1,4%	62
<i>Parachondrostoma miegii</i>	0,18	1,5%	373	0,18	1,4%	63
<i>Gobio lozanoi</i>	0,59	4,9%	1.213	0,04	0,3%	13
<i>Esox lucius</i>	0,18	1,5%	373	8,74	68,5%	3.080
<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	0,45	3,8%	933	0,89	7,0%	315
Total	11,86	100,0%	24.535	12,75	100,0%	4.494
Intervalo de Confianza (I.C)	1,90	0,0%	3.940	2,05	0,0%	722

En este cuadro se resumen las observaciones ya expuestas en cuanto a la densidad y biomasa de las especies, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. En términos absolutos se estima una población de 24.535 ± 3.940 peces con una biomasa de 4.494 ± 722 kilogramos.

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

4.5. MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL

4.5.1. Muestras ambientales de agua

El proceso de filtración de las muestras de agua, así como el de extracción del ADN ambiental se completó sin incidencias.

Todas las muestras ambientales del agua del embalse de El Ferial 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.

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

Se ha detectado trucha común mediante qPCR pero la concentración de ADN de esta especie en el agua 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 las muestras de El Ferial está entre 0 y una copia por litro analizado, por lo que no se puede concluir que ese valor sea significativamente distinto de cero. Se obtuvo una recta patrón con un buen grado de ajuste ($R^2=0,94$).

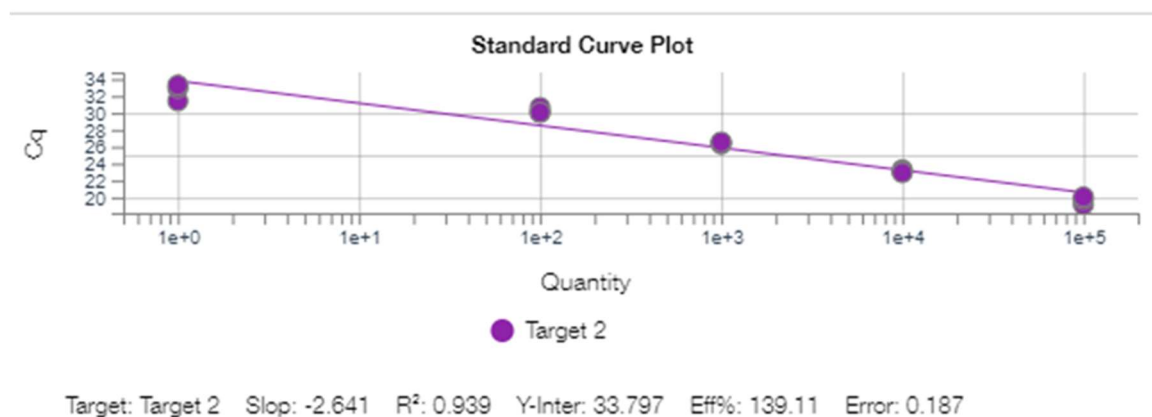


Figura 23. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN.

Los resultados obtenidos mediante ADN ambiental se encuentran en concordancia con los resultados obtenidos en los muestreos directos, ya que en éstos no se pudo capturar ningún ejemplar de esta especie.

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

Tras los análisis, ninguna muestra de ADN ambiental resultó positiva en ADN ambiental de anguila europea en el agua del embalse del El Ferial. Se obtuvo una recta patrón con un buen grado de ajuste ($R^2=0,94$).

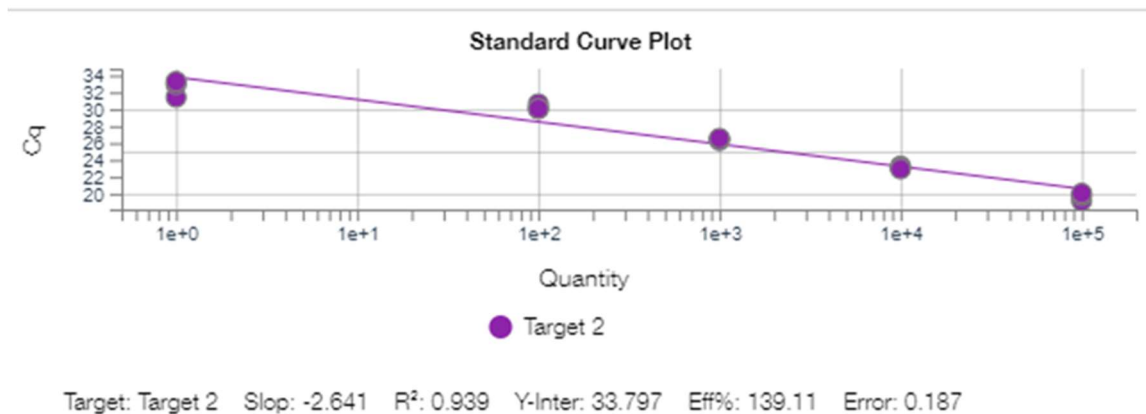


Figura 24. Recta patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Ct) frente a la cantidad de ADN detectada.

A pesar de haber utilizado un método específico de alta resolución basado en la detección genética mediante ADN ambiental, no se ha podido detectar la presencia de anguila en el embalse de El Ferial, confirmando en este caso los resultados obtenidos en los muestreos directos. Esto implica que, con alta probabilidad, la anguila no está presente en esta masa de agua.

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.

5. VALORACIÓN SEGÚN EL ÍNDICE QFBI

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

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

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

Según esta metodología, la calidad del embalse según los peces sería “Malo”. En la Tabla 14 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de El Ferial:

Tabla 14. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de El Ferial

Métrica	Embalse
	FER22
LOG_BIO	5,11
LOG_BIO_native	3,34
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,23
LOG_BIO_PISC_Exotic	4,95
LOG_BIO_ciprin_native	3,34
QFBI	3,00
Calidad	Malo

Este resultado se explica por la combinación de valores altos de biomasa total y la dominancia de especies alóctonas.

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.

De las siete (7) especies detectadas en los muestreos realizados en el embalse de El Ferial mediante redes multiagalleras y electropesca desde embarcación, cinco son alóctonas: alburno (*Alburnus alburnus*), carpa común en su variedad de espejos (*Cyprinus carpio specularis*), gardí (*Scardinius erythrophthalmus*), lucio (*Esox lucius*), y black-bass (*Micropterus salmoides*). Las dos especies autóctonas son madrilla (*Parachondrostoma miegii*) y gobio (*Gobio lozanoi*).

En el caso de la trucha común (*Salmo trutta*) y anguila (*Anguilla anguilla*), la prospección mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA) ha ofrecido resultados que no pueden tomarse como positivos y que confirman la ausencia de estas especies en la masa de agua.

La asociación de peces está dominada en términos de densidad por el alburno, que representa el 84 %, seguido del gobio (5%) y el resto de las especies con porcentajes inferiores. La carpa tiene una presencia muy testimonial. En términos de biomasa, es el lucio la especie dominante con el 69% del total y el alburno es la segunda especie en importancia con el 21%, a la que sucede el gardí con el 7%. Ninguna de las otras especies supera el 2% de la biomasa total.

La red trófica de peces en el embalse se estructura en torno al alburno, como especie pasto o forraje (y en menor medida el gardí), que sirven de alimento a los depredadores (black-bass y lucio). En este caso el lucio es la especie depredadora que ha tenido más éxito y controla las poblaciones del resto de especies. La madrilla, que es la especie autóctona que podría adaptarse mejor a esta masa de agua, se encuentra en clara regresión.

La densidad media de peces, a partir de la interpolación en celdas de 50 m, es de $11,86 \pm 1,9$ ind/dam³, que corresponde a un valor alto. La biomasa de peces obtenida en el embalse es de $12,75 \pm 2,05$ g/m², o lo que es lo mismo 127,5 kg/ha, que representa también un valor alto de biomasa, propio de un sistema eutrófico.

El índice de calidad QFBI adquiere en el embalse de El Ferial un valor “Malo”, debido a que los valores de biomasa son altos y corresponden a especies alóctonas.

Las poblaciones de alburno del embalse presentan una incidencia elevada de un endoparásito, el cestodo *Ligula intestinalis*, que compromete la viabilidad de los individuos infectados y facilita la presión depredadora de las aves ictívoras.

Este parásito tiene además un efecto de interrupción hormonal que altera el normal desarrollo gonadal de los individuos y suele acarrear una reducción de las poblaciones. Este efecto es directo, se produce a nivel del hipotálamo, y no debe confundirse con la acción de determinados contaminantes que producen también alteración endocrina.

La fauna de peces de este embalse presenta síntomas de superpoblación protagonizada por especies alóctonas (alburno y lucio) que deberían controlarse mediante acciones de extracción selectiva de las exóticas, para facilitar la recuperación de las especies autóctonas, incluyendo no solamente la madrilla, sino también la anguila e incluso la trucha común si las condiciones de calidad del agua y de hábitat accesible para la reproducción lo permitieran.



7. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS

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

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

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

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

BPUE: Biomasa por unidad de esfuerzo. El peso de las capturas obtenidas durante las pescas científicas, expresado en gramos, se normaliza a un esfuerzo de referencia, que corresponde a una red bentónica (45 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.

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

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

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

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

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

8. BIBLIOGRAFÍA

- CEN EN 14.757:2006. *Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets.*
- CEN EN 15910: 2014 *Water quality - Guidance on the estimation of fish abundance with mobile hydroacoustic methods.*
- CHE. 1996. *Diagnóstico y gestión ambiental de embalses en el ámbito de la Cuenca Hidrográfica del Ebro.*
- CHE. 2009. *Guía de campo de Peces de la Cuenca del Ebro.*
- CHE. 2015. Red de Seguimiento de Lagos 2015.
- CHE. 2016. *Control del Estado de las Masas de Agua CEMAS. Informe de situación año 2016.*
- Directiva 2006/44/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 6 de septiembre de 2006, relativa a la calidad de las aguas continentales que requieren protección o mejora para ser aptas para la vida de los peces.
- Doadrio, I. 2001. *Atlas y libro rojo de los peces continentales de España.* Madrid, MMA. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.
- Doadrio, I., S. Perea, P. Garzón-Heydt y J. L. González. 2011. *Ictiofauna continental española. Bases para su seguimiento.* DG Medio Natural y Política Forestal. MARM. 616 pp. Madrid.
- Fernandez, S., Sandin, M. M., Beaulieu, P. G., Clusa, L., Martinez, J. L., Ardura, A., & García-Vázquez, E. (2018). Environmental DNA for freshwater fish monitoring: insights for conservation within a protected area. *PeerJ*, 6, e4486.
- Fishbase. 2009. <http://www.fishbase.org/search.php>. Marzo, 2013.
- Gustavson MS, Collins PC, Finarelli JA, Egan D, Conchúir R, Wightman GD, King JJ, Gauthier DT, Whelan K, Carlsson JEL, Carlsson J. 2015. An eDNA assay for Irish *Petromyzon marinus* and *Salmo trutta* and field validation in running water. *Journal of Fish Biology* 87:1254-1262
- Jenks, George F. 1967: "The Data Model Concept in Statistical Mapping", an International Yearbook of Cartography nº 7: pp. 186-190
- Love, R. H. 1977. Target strength of an individual fish at any aspect. *The Journal of the Acoustical Society of America* 62, 1397-1403.
- Poikane, S., Birk, S., Böhmer, J., Carvalho, L., de Hoyos, C., Gassner, H., Van de Bund, W. (2015). A hitchhiker's guide to European lake ecological assessment and intercalibration. *Ecological Indicators*, 52, 533-544.
- Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental. BOE, 219, 12 de septiembre de 2015.
- SAIH Ebro. <http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/historicos/peticion>. Noviembre 2020.