

ESTUDIO DE LAS POBLACIONES DE PECES EN TRES EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO

TOMO 1. CUEVA FORADADA



MAYO DE 2013



ESTUDIO DE LAS POBLACIONES DE PECES EN TRES EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO. TOMO 1: CUEVA FORADADA



PROMOTOR: CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO
SERVICIO: CONTROL DEL ESTADO ECOLÓGICO

DIRECCIÓN DEL PROYECTO: Concha Durán Lalaguna, María José Rodríguez Pérez

EMPRESA CONSULTORA: Ecohydros SL

EQUIPO DE TRABAJO: Agustín Monteoliva Herreras, Gonzalo Alonso de Santocildes, Alberto Criado Delgado, Rubén Torres Santos y José Manuel Gómez Gómez.

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN: 68.546,50 euros (Tomo 1 de 5)

CONTENIDO: MEMORIA, ANEJOS y CD.

AÑO DE EJECUCIÓN: 2012-2013

FECHA ENTREGA: MAYO DE 2013

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.

CITA DEL DOCUMENTO: "Confederación Hidrográfica del Ebro (2013). Estudio de las poblaciones de peces en tres embalses de la Cuenca del Ebro para la determinación del Potencial Ecológico. Tomo 1. Cueva Foradada, 59 pp. Disponible en PDF en la web: <http://www.chebro.es>"

ESTUDIO DE LAS POBLACIONES DE PECES EN TRES EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO PARA LA DETERMINACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO.

TOMO 1. CUEVA FORADADA

En septiembre de 2012 se llevó a cabo un muestreo cuantitativo de las poblaciones de peces del embalse de Cueva Foradada con el objetivo de evaluar el potencial ecológico tal y como prescribe la DMA.

Para ello se empleó una combinación de técnicas de muestreo directo: redes agalleras científicas (CEN-EN 14.757/2006) y pesca eléctrica desde embarcación con técnicas hidroacústicas que permiten la evaluación cuantitativa de las poblaciones de peces en términos de densidad y biomasa.

Se encontró una dominancia en densidad de las especies autóctonas: barbo de Graells (*Barbus graellsii*) y madrilla (*Parachondrostoma miegii*) que suponen respectivamente un 42% y un 30% de la población, frente a las alóctonas: Carpa (*Cyprinus carpio*) y Black bass (*Micropterus salmoides*).

En biomasa, sin embargo, es la carpa (53%) la de mayor importancia en la asociación, seguida por el barbo (45%).

La densidad estimada fue de 11,2 ind/dam³ y la biomasa de 8,1 g/m². Se trata de valores elevados, condicionados por las bajas reservas del embalse en el momento de muestreo.

Aunque no existen métodos oficiales de evaluación del potencial ecológico basado en los peces, en una primera aproximación actualmente en proceso de revisión y publicación, el potencial obtenido es "bueno".



FISH STOCK EVALUATION OF THREE EBRO BASIN RESERVOIRS IN ORDER TO ASSESS THEIR ECOLOGICAL POTENTIAL.

VOLUME 1. CUEVA FORADADA

In September 2012, a quantitative fish stock survey was conducted on Cueva Foradada reservoir, in order to evaluate the Ecological Potential as stated by the WFD.

By means of a combination of remote (hydroacoustics) and direct sampling gears (gillnetting and boat electrofishing), the fish assemblage was quantified and characterized.

Native species dominated the fish assemblage: The populations of Ebro barbel (*Barbus graellsii*) and Ebro nase (*Parachondrostoma miegii*) accounted for 42 % and 30 % of the total fish density respectively. The exotic species found were carp (*Cyprinus carpio*) and Black bass (*Micropterus salmoides*). Carp was the most important species in terms of biomass (53%) followed by barbell (45%)

Estimated density for the reservoir was 11.2 ind/dam³ and the biomass accounted for 8.1 g/m². Both results are high, conditioned by the low water level at the time of the survey.

Although there are not official fish-based ecological potential assessment methods, as a first approach, these results show that the ecological potential of Cueva Foradada reservoir is "GOOD". This work is currently under revision to be published.



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1.	INTRODUCCIÓN	11
1.1.	Estudio cuantitativo de la fauna íctica.....	12
2.	ÁMBITO DE ESTUDIO	15
2.1.	Situación.....	15
2.2.	Caracterización morfológica	16
2.3.	Régimen hidrológico.....	17
2.4.	Caracterización físico-química del embalse. Perfiles verticales.....	17
2.5.	Potencial ecológico y estado trófico	18
3.	METODOLOGÍA	19
3.1.	Diseño del muestreo	20
3.2.	Muestreos remotos: Hidroacústica.....	20
3.2.1.	<i>Prospección hidroacústica</i>	<i>20</i>
3.2.2.	<i>Procesado de datos acústicos</i>	<i>21</i>
3.3.	Muestreos directos de pesca	22
3.3.1.	<i>Redes agalleras multipaño.....</i>	<i>22</i>
3.3.2.	<i>Pesca eléctrica desde embarcación.....</i>	<i>24</i>
3.4.	Interpolado espacial y estimaciones globales	25
3.5.	Evaluación del potencial ecológico	26

4.	RESULTADOS	29
4.1.	Sondeo Hidroacústico: Densidades	29
4.2.	Comparativa con otros embalses del Ebro	34
4.3.	Muestreos directos: Composición y biomasa específica.....	34
4.3.1.	<i>Especies presentes en el embalse.....</i>	<i>35</i>
4.3.2.	<i>Composición y distribución de especies.....</i>	<i>35</i>
4.4.	Biomasa	41
4.5.	Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro	44
4.6.	Densidad y biomasa por especies	44
5.	APROXIMACIÓN AL POTENCIAL ECOLÓGICO BASADO EN PECES	47
6.	CONCLUSIONES	49
7.	GLOSARIO	51
8.	BIBLIOGRAFÍA	53



ÍNDICE DE ANEJOS

Anejo I. ESPECIES PRESENTES.....	55
Anejo II. RESULTADOS DE LAS PESCAS.....	57
Anejo III. MAPAS.....	59

ÍNDICE FIGURAS Y TABLAS

ÍNDICE DE FIGURAS CORRESPONDIENTES A GRÁFICOS Y FOTOS

Figura 1. Vista del embalse de Cueva Foradada durante la campaña de muestreo	13
Figura 2. Vista de la presa del embalse de Cueva Foradada.....	13
Figura 3. Situación del embalse de Cueva Foradada	15
Figura 4. Batimetría del embalse de Cueva Foradada.....	16
Figura 5. Variación del volumen embalsado a lo largo del año hidrológico 2011-2012 (SAIH Ebro)	17
Figura 6. Perfiles físico-químicos realizados del embalse de Cueva Foradada (9/9/12)	18
Figura 7. Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse	19
Figura 8. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico.	21
Figura 9: Red calada (izq.) y peces capturados (dcha.)	24
Figura 10. Pesca eléctrica desde embarcación.....	25
Figura 11. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial	26

Figura 12. Recorridos de sondeo hidroacústico	29
Figura 13. Ejemplo de ecograma en una de las zonas parcialmente sometidas a burbujeo en el embalse de Cueva Foradada	30
Figura 14: Distribución de frecuencias de densidad (ind/dam³), estimada mediante ecosondeo (celdas con densidad mayor a 0)	30
Figura 15. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces. Cada punto representa una celda de 50m de longitud.....	32
Figura 16. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro	34
Figura 17. Ubicación de las redes y recorridos de pesca eléctrica	36
Figura 18. Composición de la asociación obtenida mediante redes	38
Figura 19. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm.....	39
Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica	40
Figura 21. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces	42
Figura 22. Comparación de la biomasa con otros embalse de la cuenca del Ebro	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Estratos considerados en el embalse de Cueva Foradada	17
Tabla 2: Descripción de las redes de muestreo empleadas	23
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI.....	27
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico	27
Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam³) por estratos, estimada mediante acústica	31
Tabla 6. Estimaciones de densidad obtenidas mediante métodos geoestadísticos	33
Tabla 7. Especies presentes en el embalse	35
Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies	37
Tabla 9. Resultados de la pesca eléctrica por especies.....	40



Tabla 10. Biomasa de peces por estratos (g/m²) estimada mediante acústica	41
Tabla 6. Estimaciones de biomasa obtenidas mediante métodos geoestadísticos	43
Tabla 11. Densidades (ind/dam³) y biomاسas (g/m²) por especie	45
Tabla 12. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Cueva Foradada.....	48



1. INTRODUCCIÓN

El presente documento constituye el tomo 1 (embalse de Cueva Foradada) del informe final de la Asistencia Técnica para el Estudio censal de las comunidades de peces en los embalses de Cueva Foradada, Pena y la Tranquera (en adelante el Estudio) adjudicado a Ecohydros, S.L. por la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE).

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 científica ya contempla los sensores acústicos como un medio 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, desde el zooplancton a los peces. 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 está siendo progresivamente aplicado, debido en gran medida, a su incremento en portabilidad.

La CHE es consciente de la oportunidad que representa la adaptación y aplicación de estas técnicas a las masas de aguas continentales, para mejorar la cantidad y calidad de la información disponible en la optimización de la gestión de los ecosistemas acuáticos no vadeables, es decir, no accesibles a las técnicas directas de muestreo, razón por la que ha promovido el presente estudio.

Desde la CHE se pretende mediante esta asistencia técnica explorar y, en su caso, explotar los beneficios que ofrece este tipo de técnicas prospectivas en cuanto al control y gestión de los ecosistemas acuáticos, en lo que es una expresión más de la vocación de

aspirar a las mejores técnicas disponibles, como estrategia para optimizar el rendimiento en sus obligaciones competenciales relativas a la gestión de la calidad de las aguas.

Este informe recoge la descripción de los métodos aplicados, así como los resultados obtenidos. El informe consta de una Memoria con sus respectivos ANEJOS, 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. Estudio cuantitativo de la fauna íctica

La ictiofauna 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.

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 de peces.

Es bien sabido además, que la Directiva Marco del Agua prescribe el uso de indicadores de composición y abundancia en diferentes elementos biológicos, incluyendo los peces, para los que además se requiere una estimación de la estructura de tallas.

Mediante el presente estudio, se pretende evaluar las poblaciones de peces en los embalses de Cueva Foradada, Pena y la Tranquera, al tiempo que se somete a contraste el rendimiento de las técnicas hidroacústicas combinadas con muestreos directos de verificación, como futura metodología de aplicación en las masas de agua no vadeables para evaluar su estado (potencial) ecológico en función del elemento bioindicador que representa la fauna íctica en el contexto de la Directiva Marco del Agua.



Figura 1. Vista del embalse de Cueva Foradada durante la campaña de muestreo



Figura 2. Vista de la presa del embalse de Cueva Foradada

2. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. Situación

En embalse de Cueva Foradada se localiza en el paraje conocido como “Los Congostos” entre los términos municipales de Alcaine y Oliete, en la provincia de Teruel, se sitúa a una altitud de 580 m sobre el nivel del mar y recoge las aguas del río Martín.

Su construcción data de principios del siglo pasado, su titular es el Estado y el uso principal es el riego. En lo referente a los usos lúdicos, aunque restringidos por la dificultad de acceso, los principales son la navegación (permitida solo a remo) y la pesca.

El embalse presenta un notable interés tanto para las aves acuáticas como para las rapaces (águila real, perdicera, alimoche, buitre, etc.) que habitan y nidifican en los congostos cercanos. Se encuentra situado en la ZEPA “Desfiladeros del río Martín” y en el LIC “Parque cultural del río Martín”. En la figura siguiente se presenta su situación:

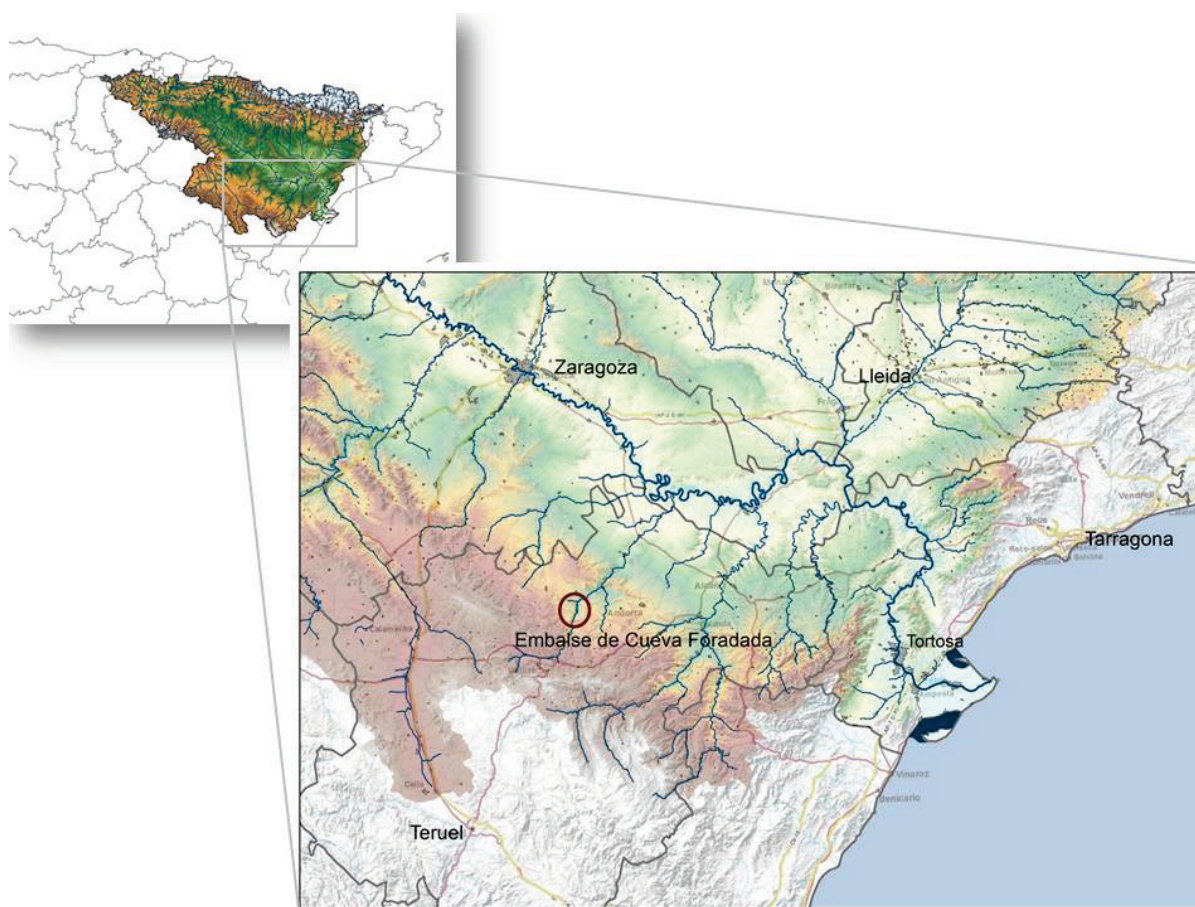


Figura 3. Situación del embalse de Cueva Foradada

2.2. Caracterización morfológica

El embalse tiene una capacidad máxima de 22 hm³ y ocupa una superficie de 190 ha, lo que supone una profundidad media de 11,6 m. La profundidad máxima es de 43 m.

El muestreo hidroacústico, como se explica más adelante en el apartado de metodología, permite obtener una batimetría que se emplea para cubicar los diferentes estratos y ponderar las densidades y biomásas obtenidas por capa.

En la figura siguiente se representa la batimetría obtenida en planta y en 3D (Z x10).

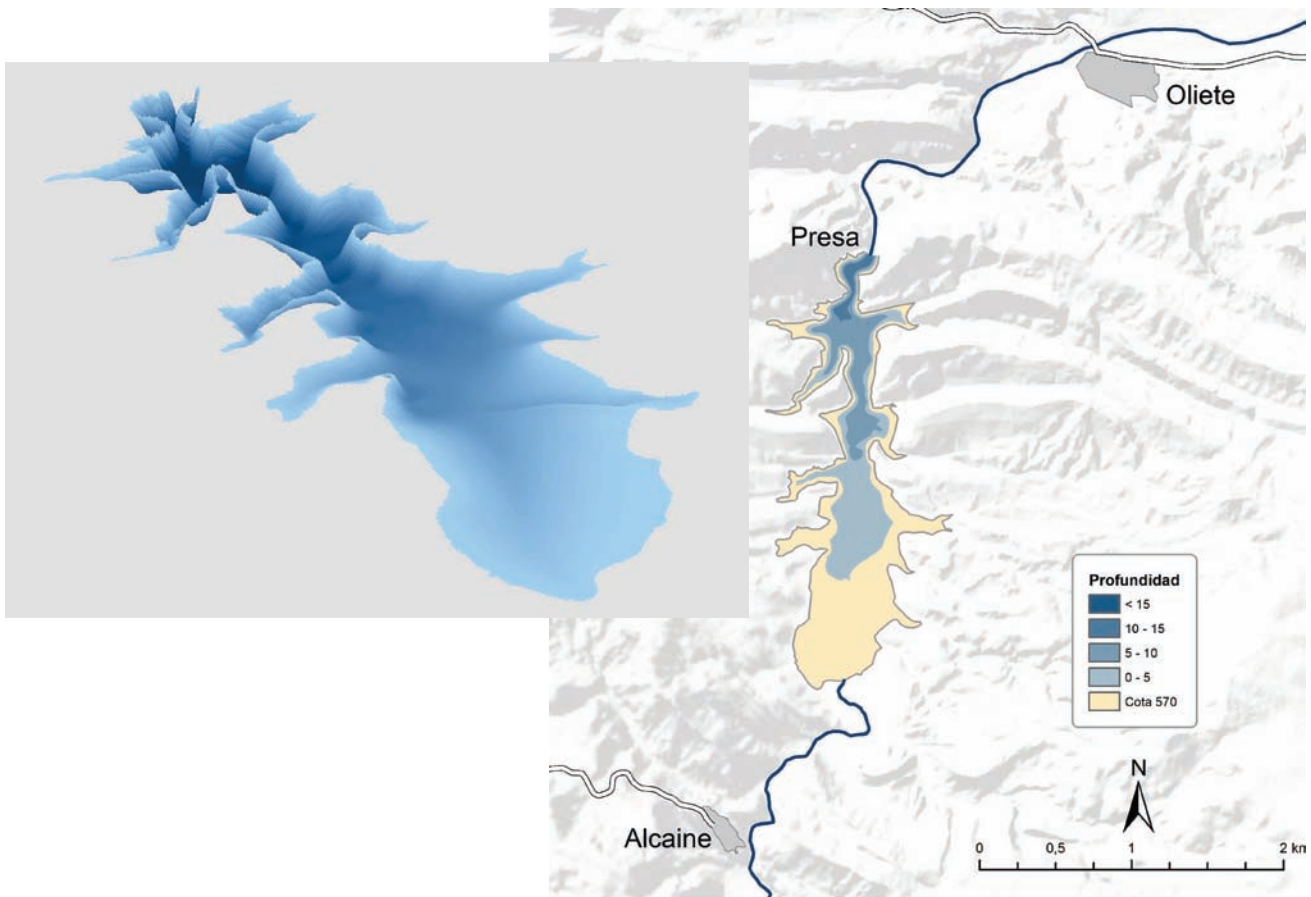


Figura 4. Batimetría del embalse de Cueva Foradada

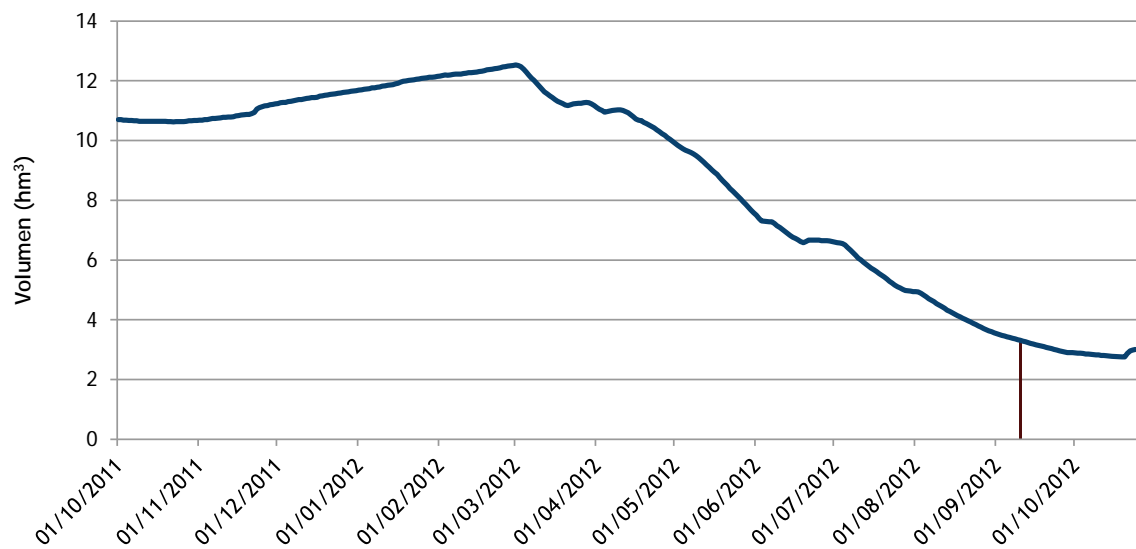
En la tabla siguiente se presentan los volúmenes y superficies de cada uno de los estratos considerados.

Tabla 1. Estratos considerados en el embalse de Cueva Foradada

Estrato	Profundidad	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
1	0 a -5	1,60	47,17
2	-5 a -10	0,47	18,85
3	< -10	0,05	2,71

2.3. Régimen hidrológico

El embalse sufre importantes variaciones de nivel, como se puede apreciar en el gráfico de la figura siguiente, donde se representa la variación de volumen a lo largo del año hidrológico 2011-2012. Se ha marcado en color rojo el día de muestreo.


Figura 5. Variación del volumen embalsado a lo largo del año hidrológico 2011-2012 (SAIH Ebro)

Se aprecia que el día de muestreo, el embalse se encontraba prácticamente en el nivel más bajo del año (15% de su capacidad).

2.4. Caracterización físico-química del embalse. Perfiles verticales

Para orientar la definición de macrohábitats y establecer la velocidad real del sonido en el agua (parámetro fundamental para el ecosondeo), se realizó en la zona de máxima profundidad un perfil vertical de temperatura, conductividad eléctrica, pH y oxígeno disuelto. En los gráficos siguientes se presentan los perfiles obtenidos.

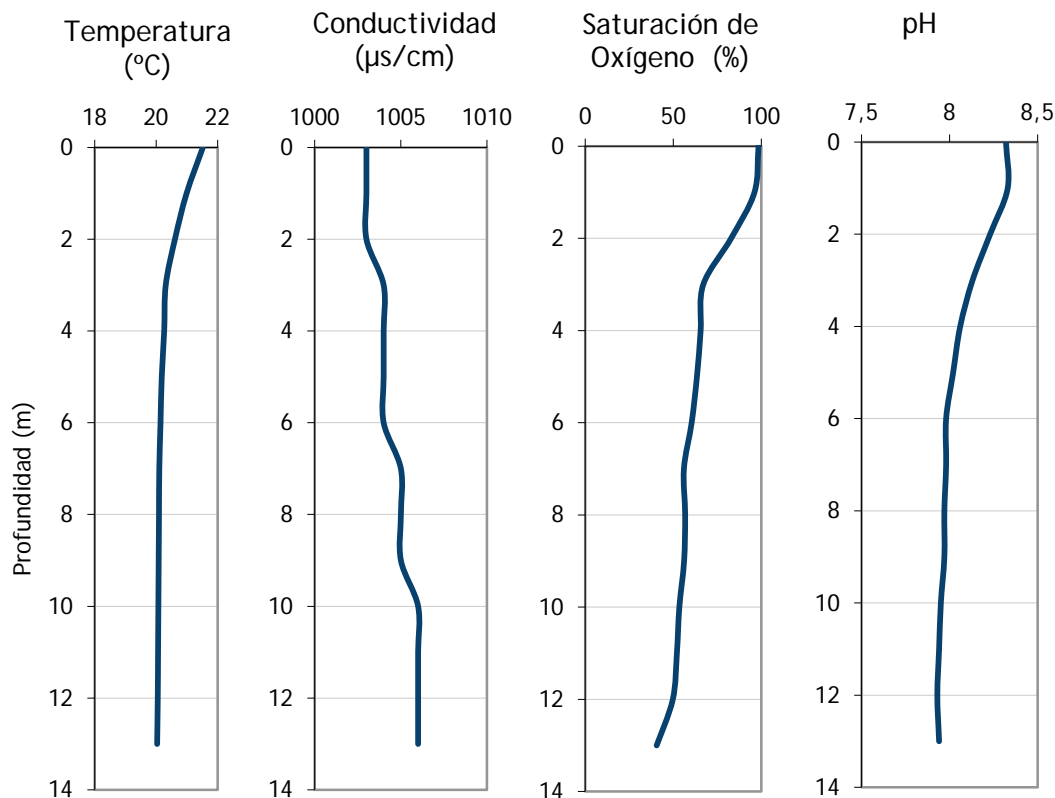


Figura 6. Perfiles físico-químicos realizados del embalse de Cueva Foradada (9/9/12)

Se aprecia una ligera estratificación térmica en torno a los 3 metros, unida a un descenso de la concentración de oxígeno. Como se verá más adelante en el apartado de resultados, los peces ocupaban toda la columna, a pesar de la baja concentración de oxígeno en las capas inferiores.

2.5. Potencial ecológico y estado trófico

Se trata de un embalse monomítico, calcáreo de zonas no húmedas ($IH < 0,74$), pertenecientes a ríos de cabecera (área de cuenca $< 1.000 \text{ km}^2$), lo que lo sitúa en el tipo 10, según los criterios del CEDEX (2005).

En lo que respecta al estado trófico, ha sido clasificado como mesotrófico y con potencial ecológico moderado (bueno si se consideran únicamente los indicadores biológicos), según el Informe de Situación del año 2011 del CEMAS (CHE, 2012).

3. METODOLOGÍA

Se ha aplicado un procedimiento de muestreo sistemático mediante ecosondeo vertical y horizontal, combinándolo 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 7, 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.

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

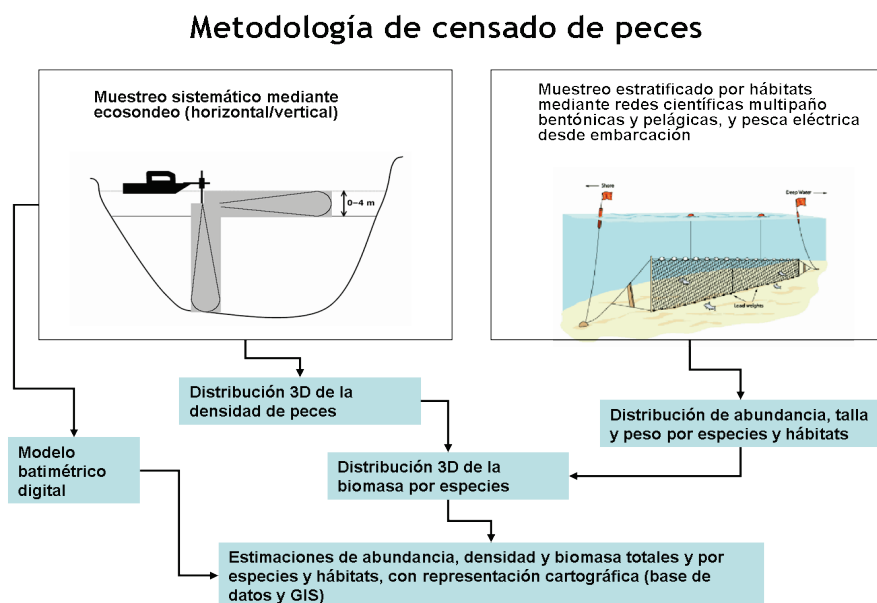


Figura 7. Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

3.1. Diseño del muestreo

Se ha optado por una distribución sistemática de las unidades de muestreo acústico, con una separación entre transectos 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.

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.

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 partido de 430 kHz en posición horizontal y un transductor digital de haz partido de 200 kHz en posición vertical. 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.

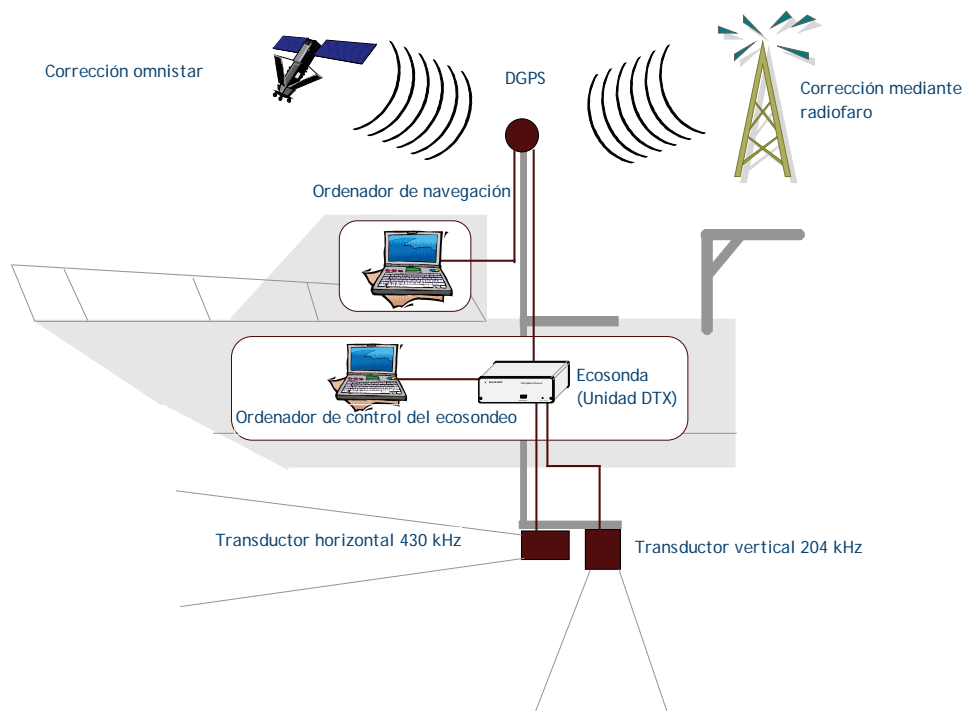


Figura 8. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico

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 ecoconteo y ecointegración. La técnica del ecoconteo permite, para cada ping o muestra, catalogar cada señal como blanco (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.

Los datos acústicos brutos han sido corregidos mediante la función TVG (ganancia cronovisible) específica para ecoconteo (40LogR) y para ecointegración (20LogR), según

el caso. Una vez clasificadas todas las señales de peces en los ecogramas, se almacenan junto a su posición y características estadísticas, incluyendo la intensidad acústica media, compensada en función de la posición del blanco en el espacio tridimensional formado por el haz acústico.

A partir de estos blancos verificados y corregidos, se ha aplicado un análisis para la evaluación de la densidad y biomasa de peces, basado en el recuento (ecoconteo) de blancos clasificados en intervalos de análisis definidos o ecointegración en el caso del estrato superior.

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, se ha aplicado un algoritmo adaptado a la frecuencia acústica aplicada, a partir de la ecuación básica de Love (1977). En el caso de la ecointegración se ha utilizado la talla media de las capturas obtenidas en las pescas para obtener la intensidad de sección transversal (*backscattering cross section*) utilizando regresiones *ad hoc* (Kubecka et al., 2009).

La profusión de burbujas en este embalse, producto de la desgasificación de los sedimentos, ha condicionado el procesado de datos acústicos hasta el punto de que se ha hecho necesario desarrollar e implementar en el software un nuevo filtro que permite discriminar y eliminar de las estimaciones la contribución de las burbujas a la densidad y biomasa equivalente. Este filtro se basa, no sólo, pero principalmente en la posibilidad de estimar la velocidad de ascenso de los blancos detectados dentro de un haz dividido y su desarrollo constituye una solución original en las aplicaciones acústicas de este tipo. Se está trabajando además en una solución equivalente para sondeos horizontales.

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 11, 12 o 16 paños agalleros de luz creciente, que va desde 5 hasta 55 mm, en una longitud total de 27,5 m, 30 m o 40 m de largo y de 1,5 ó 6 m de alto. El 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 igual 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 cala, 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 media y en superficie.

Tabla 2: Descripción de las redes de muestreo empleadas

Código	Número de paños x longitud (m)	Luz de malla (mm)	Long x altura (m)	Esfuerzo respecto a estándar
12 x 1,5	12 x 2,5 m	5 - 55	30 x 1,5	1
12 x 6	11 x 2,5 m	6,25 - 55	27,5 x 6	3,66
16 x 1,5	16 x 2,5 m	5 - 135	40 x 1,5	1,33
16 x 6	15 x 2,5 m	6,25 - 135	37,5 x 6	5
4 x 1,5	4 x 10 m	70 - 135	40 x 1,5	1,33
4 x 6	4 x 10 m	70 - 135	40 x 6	5,33

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”. Esto responde a un planteamiento estratificado más que sistemático.

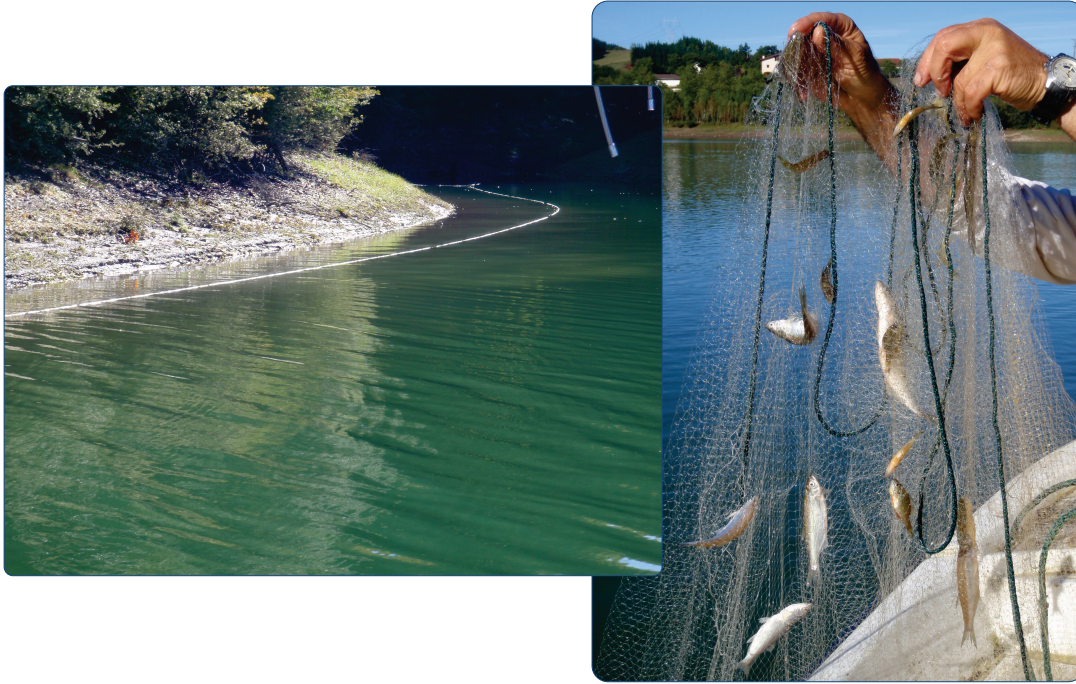


Figura 9: Red calada (izq.) y peces capturados (dcha.)

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 13 CV, 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 (13kW). 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 es de 100 metros de orilla. Los muestreos de pesca eléctrica se realizan durante la noche.



Figura 10. Pesca eléctrica desde embarcación

3.4. Interpolado 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 30. Todos los mapas e ilustraciones que se incluyen en el presente Estudio se han orientado 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 11) 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.

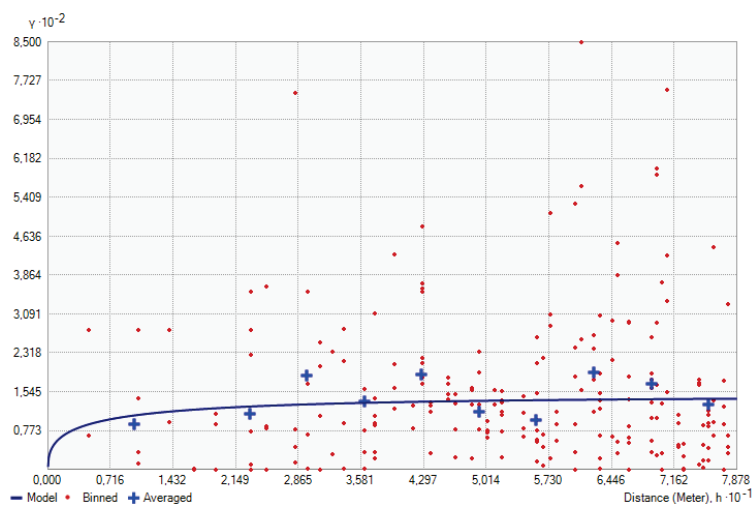


Figura 11. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

El interpolado se realiza independientemente para cada estrato considerado (tabla 1) que se han nombrado utilizando la siguiente nomenclatura internacional:

Upper Open Water (UOW): Estrato superior

Middle Open Water (MOW): Estrato medio

Lower Open Water (LOW): Estrato inferior

3.5. Evaluación del potencial ecológico

A pesar de no existir en la actualidad un método oficial de evaluación del potencial ecológico basado en peces, sí que se dispone de un índice provisional, desarrollado 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*” (Expdte.: 082/RN08/01. 1), coordinado por Ecohydros.

Esta primera aproximación a un índice de calidad basado en los peces se denominó QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*) y actualmente está siendo revisado y contrastado para su futura publicación.

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. De esta manera se seleccionaron mediante regresión logística (*stepwise*) cinco métricas que combinadas, ofrecen 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	Coficiente
		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:

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

Una de las cuestiones más delicadas en la evaluación del potencial 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

4. RESULTADOS

4.1. Sondeo Hidroacústico: Densidades

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 7,2 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (D_a) de 10. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico, se presentan en la siguiente figura.

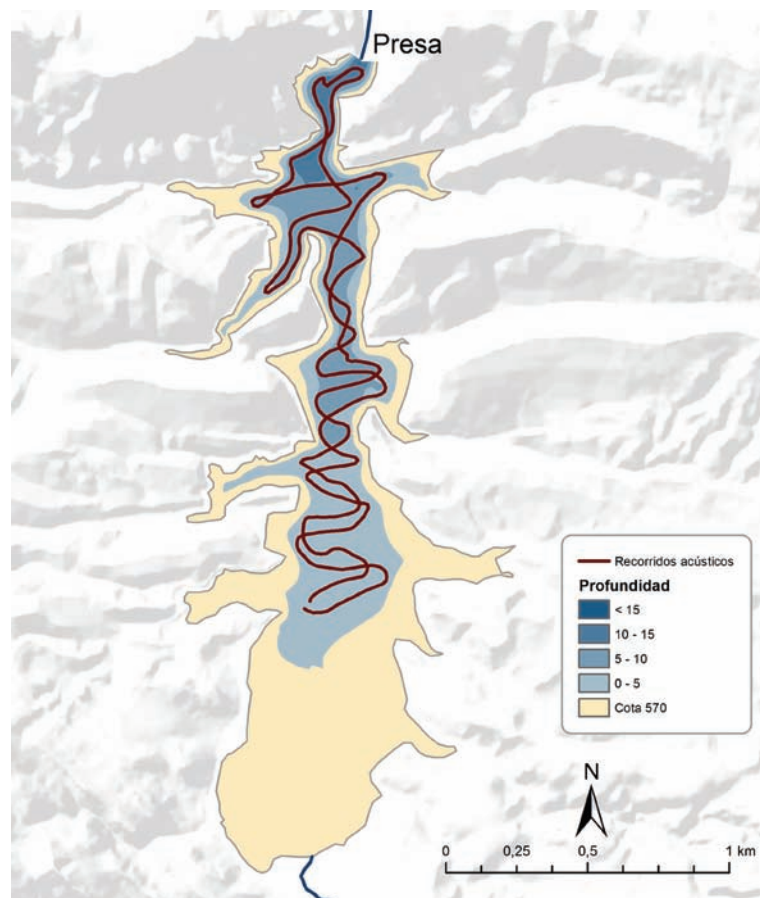


Figura 12. Recorridos de sondeo hidroacústico

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 de peces. En la documentación del CD adjunto a la presente memoria, se entrega un listado completo de estas celdas de análisis, detallando sus coordenadas, estrato, densidad y biomasa.

Tal y como se ha comentado en el apartado metodológico, en este embalse se ha detectado un intenso burbujeo en algunas zonas, debido a la descompresión de los

sedimentos por el acusado descenso de la lámina de agua, lo que genera una gran dificultad en el procesado de datos acústicos (figura 13), hasta el punto de que ha sido necesario desarrollar y validar un algoritmo específico para discriminar entre las burbujas de gas y los peces, que en los ecogramas presentan un aspecto muy similar.

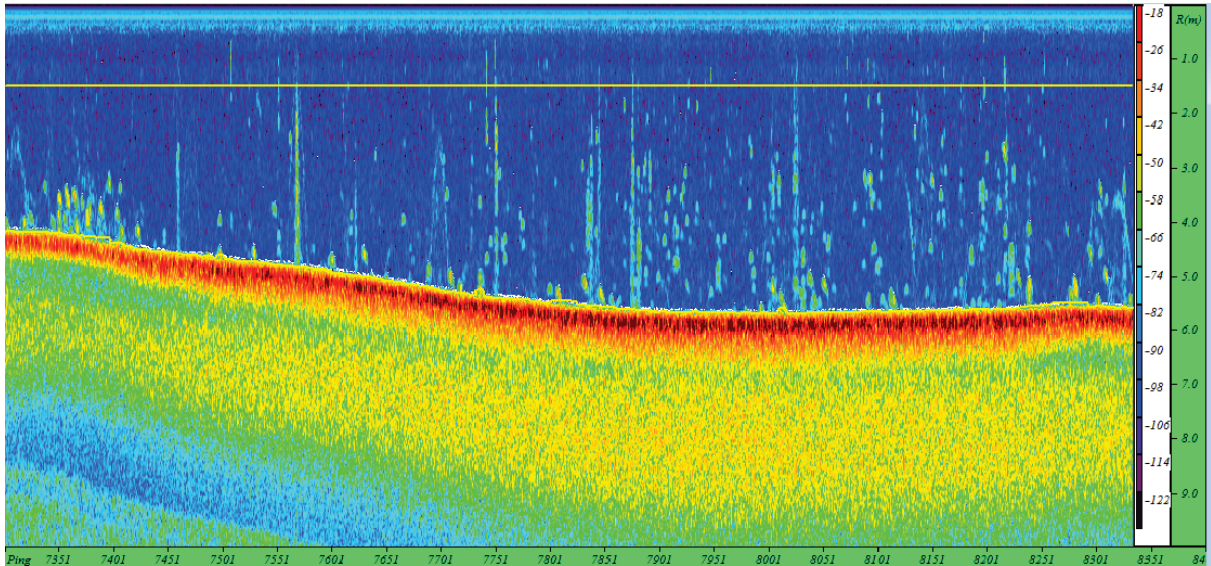


Figura 13. Ejemplo de ecograma en una de las zonas parcialmente sometidas a burbujeo en el embalse de Cueva Foradada

En el gráfico y tabla siguientes se representan la distribución de frecuencias de los valores de densidad, obtenidos a partir de los rastros, y los estadísticos descriptivos correspondientes, tanto para el ecosondeo horizontal como para el vertical. La densidad se ha expresado en individuos por decámetro cúbico ($=1.000 \text{ m}^3$).

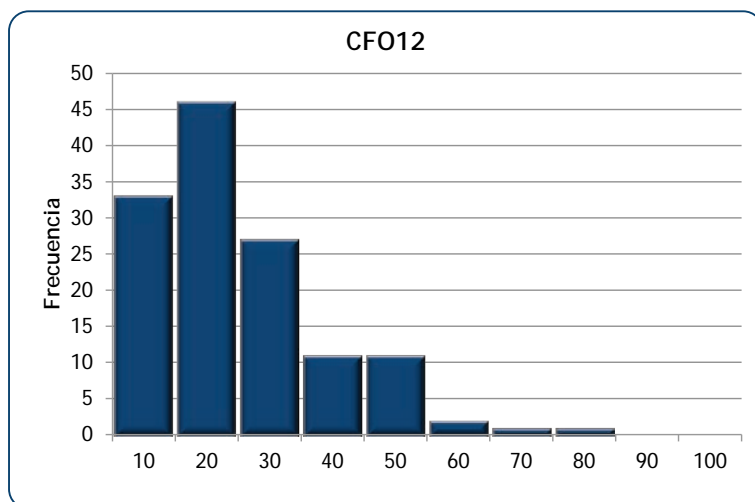


Figura 14: Distribución de frecuencias de densidad (ind/dam^3), estimada mediante ecosondeo (celdas con densidad mayor a 0)

Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam³) por estratos, estimada mediante acústica

Estrato	Densidad media (ind/dam ³)	Densidad máxima (ind/dam ³)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
1	9,13	45	144	74	11,66
2	18,21	133	78	22	22,07
3	11,96	43	11	4	12,66

Estos valores medios se han ponderado con el volumen de cada estrato y sector (tabla 1), para obtener una densidad total del embalse de **11,2 ind/dam³**.

Este elevado valor se explica en parte por las bajas reservas hídricas con las que contaba el embalse en el momento del muestreo. Con el fin de corregir el efecto de acumulación de peces durante los fuertes estiajes, se ha corregido la densidad para el volumen medio del año hidrológico (9 hm³) con lo que se ha obtenido una densidad de **2,6 ind/dam³**, que se trata de un valor mucho más acorde con las características productivas del embalse.

La distribución espacial de la densidad de peces se presenta interpolada en las láminas 1 a 3 (ANEJO III) para los tres estratos considerados.

En la figura 15 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 han utilizado como valores de corte, la mitad de la densidad media, la densidad media y el doble de la misma.

Es posible apreciar que la mayor concentración de peces del embalse se encuentra en la capa intermedia (MOW, de 5 a 10 metros) con una distribución horizontal más o menos homogénea. En el estrato superior se aprecia un aumento de la densidad en la parte central del embalse. La densidad media se mantiene elevada en todas las capas, a pesar de las condiciones de baja oxigenación en profundidad.

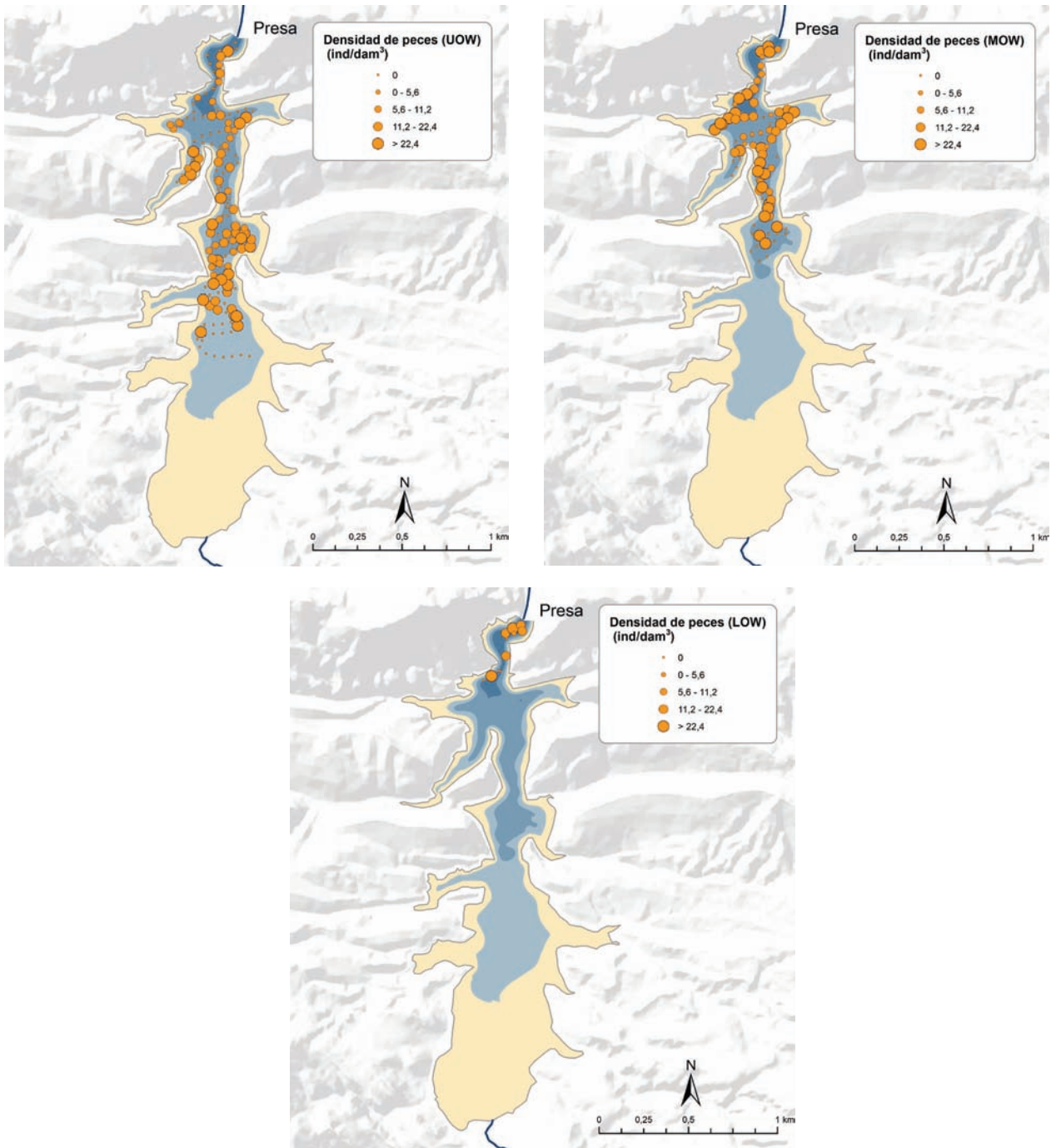


Figura 15. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces. Cada punto representa una celda de 50m de longitud

Además de las evaluaciones ofrecidas anteriormente (obtenidas como media aritmética de las celdas de análisis), se han calculado los mismos parámetros poblacionales mediante métodos geoestadísticos, a partir de los mapas interpolados presentados en el anejo III.

Esta forma de evaluación la densidad y biomasa del embalse, está condicionada por el método y configuración de la interpolación por lo que por su estandarización se hace más difícil y con ello la comparabilidad de resultados de los diferentes sistemas.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de densidad obtenidos para el embalse de Cueva Foradada.

Tabla 6. Estimaciones de densidad obtenidas mediante métodos geoestadísticos

Estrato	Densidad media (ind/dam³)	Desviación típica
1	8,03	6,01
2	17,09	16,65
3	11,93	0,35
Total	10,13	

Se aprecia que las densidades obtenidas son ligeramente inferiores, tanto por estratos como para el conjunto del embalse, lo que nos indica que ambos métodos de cálculo son equivalentes para el caso de Cueva Foradada.

4.1.1. Comparativa con otros embalses del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de densidad obtenidos en Cueva Foradada 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.

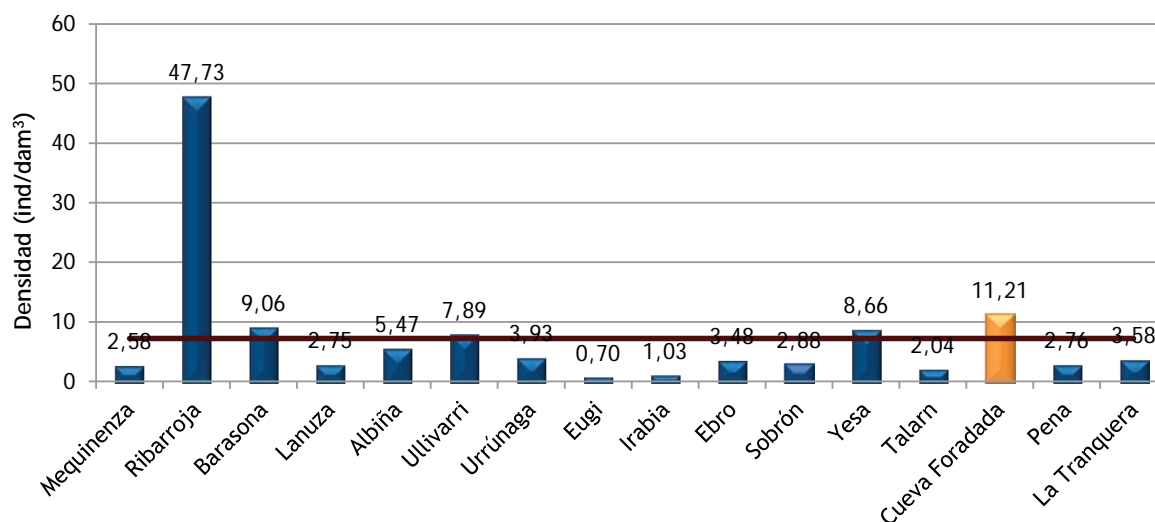


Figura 16. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro

Se constata que este valor está en el rango alto de densidad de peces de los embalses de la cuenca del Ebro para los que se dispone de cuantificaciones realizadas con técnicas comparables. No obstante, como se ha apuntado anteriormente, la elevada densidad se explica parcialmente por el bajo nivel en el que se encontraba el embalse en el momento del muestreo. La densidad corregida para el valor de la reserva media anual es de 2,6 ind/dam³.

4.2. Muestreos directos: Composición y biomasa específica

Los muestreos directos se han realizado mediante la 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.

Los detalles de cada una de las pescas se han recogido en fichas de campo. En estas fichas, facilitadas en el ANEJO II, se detallan los datos relativos a cada muestreo, así como

un resumen de las capturas en las que se incluyen los siguientes valores por especie y totales:

Capturas por unidad de esfuerzo (CPUE), es decir, el número de ejemplares acumulado estandarizado a 12 h de pesca y 45 m² de red multipaño (red bentónica) o bien, en caso de tratarse de pesca eléctrica, número de ejemplares capturado por 100 m de orilla recorridos.

Biomasa por unidad de esfuerzo (BPUE), es decir, el peso acumulado estandarizado a 12 h de pesca y 45 m² de red multipaño (red bentónica), o bien, en caso de tratarse de pesca eléctrica, peso total de los ejemplares capturado por 100 m de orilla recorridos.

4.2.1. Especies presentes en el embalse

En este apartado, se presentan las especies encontradas en los muestreos. En el ANEJO I, se presenta una ficha descriptiva por especie en la que se incluye una breve descripción, una fotografía, un histograma de frecuencias por clases de talla de 5 mm y un mapa en el que se representa el % de CPUE en las diferentes redes. (Descripciones de Doadrio, 2001; CHE, 2009; fishbase.org y wikipedia. Fotografías de Ecohydros SL).

En la siguiente tabla se enumeran todas las especies capturadas y se indica su carácter autóctono o alóctono:

Tabla 7. Especies presentes en el embalse

Nombre común	Nombre científico	Autóctono/alóctono
Barbo de Graells	<i>Barbus graellsii</i>	Autóctono
Black bass	<i>Micropterus salmoides</i>	Alóctono
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	Alóctono (anterior a 1900)
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	Alóctono (anterior a 1900)
Madrilla	<i>Parachondrostoma miegii</i>	Autóctono

4.2.2. Composición y distribución de especies

Capturas con redes

El total de capturas con redes fue de 325 peces con un peso total de 101,6 kg, lo que supone 142 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 37,9 kg de Biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 8 redes en 167 horas de pesca (26,9

unidades de esfuerzo). La ubicación de las redes de muestreo, junto a los recorridos de pesca eléctrica, se refleja en la figura siguiente:

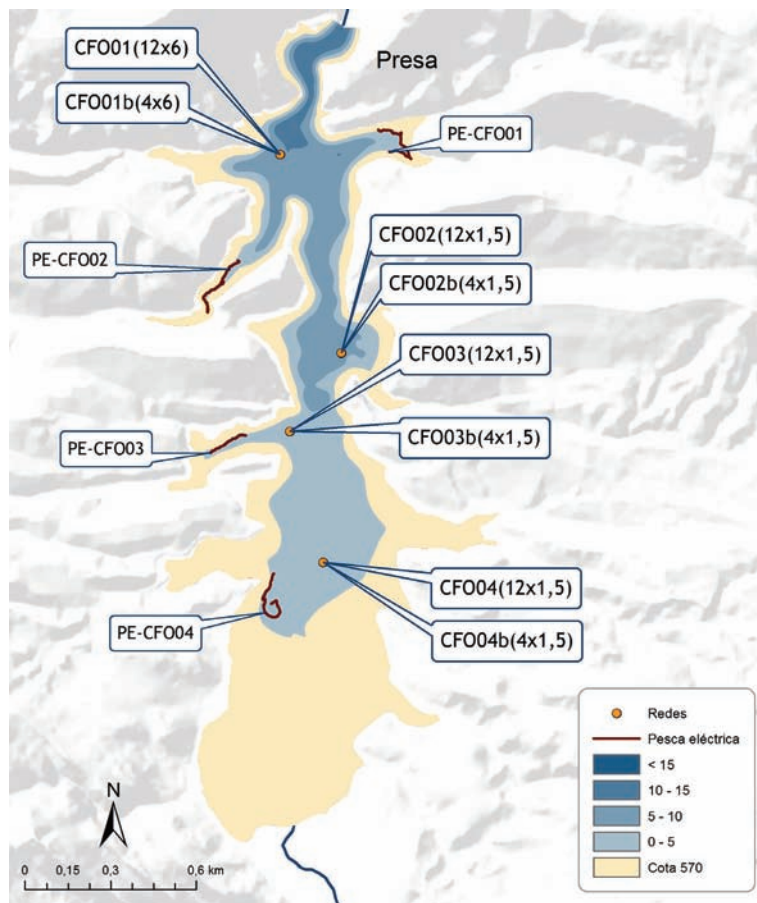


Figura 17. Ubicación de las redes y recorridos de pesca eléctrica

En la tabla 5 y en la figura 18, se facilitan los resultados obtenidos de las redes, agregados por especies, para cada uno de los estratos del embalse. Se han capturado un total de 4 especies diferentes (de la carpa, a su vez, se distinguen dos variedades).

Tabla 8. Resultados de las pescas con red por especies

	<i>Barbus graellsii</i>	<i>Micropterus salmoides</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	<i>Parachondrostoma miegii</i>	Total
Capturas	163	1	66	28	67	325
CPUE	59	1	27	13	43	142
% CPUE	42%	0%	19%	9%	30%	100%
MCPUE12	14,8	0,2	5,9	2,9	10,7	34,5
MCPUE4	0,1	0,0	0,7	0,3	0,0	1,2
PF total (g)	51.330	130	31.098	17.496	1.542	101.596
BPUE (g)	16.890	89	12.769	7.248	933	37.930
% BPUE	45%	0%	34%	19%	2%	100%
MBPUE12	4.164	22	2.347	1.374	233	8.140
MBPUE4	59	0	845	438	0	1.342
Long furcal media (mm)	256	205	279	299	111	234
Peso medio (g)	315	130	471	625	23	313

Los términos empleados para describir la asociación de peces del embalse son los siguientes:

Capturas: Número de individuos pescados

CPUE: Capturas por unidad de esfuerzo. Número de peces pescados ponderado por el esfuerzo de la red en la que han sido capturados

% CPUE: Capturas por unidad de esfuerzo expresado como porcentaje

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)

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

BPUE: Biomasa por unidad de esfuerzo. Peso total de los peces ponderado por el esfuerzo de la red en la que han sido capturados, expresado en gramos.

% BPUE: Biomasa por unidad de esfuerzo expresada en porcentaje

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)

L. furcal: Longitud furcal media en mm.

Peso medio: expresado en g.

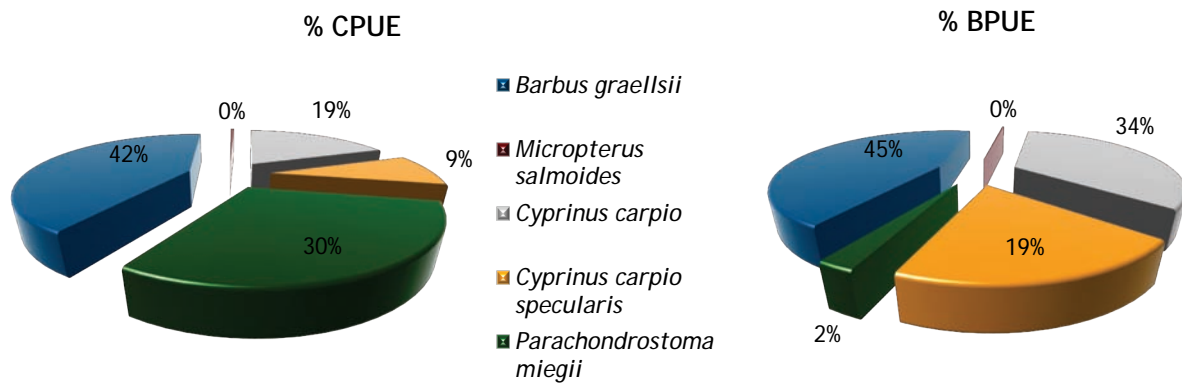


Figura 18. Composición de la asociación obtenida mediante redes

La especie que domina la asociación es el barbo de Graells, seguido por la madrilla. Ambas especies autóctonas suponen más del 70% de la asociación. La presencia del *Black bass* es por el momento poco significativa, de tal manera que el resto de la asociación se distribuye entre las dos variedades de carpa, dominando la común.

En lo que respecta a la biomasa, el barbo mantiene su importancia relativa (45%), pero sin embargo la asociación está dominada por las carpas (53%). La madrilla, con un tamaño medio pequeño (23 g de media), apenas supone el 2% de la biomasa del embalse.

En la figura 19 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.

Se aprecia una moda clara en las tallas de barbo en torno a 260 mm, pero sin embargo se nota una ausencia evidente de clases de edad menores. En el caso de la madrilla, sí que están representadas varias clases de edad, con dos modas, una correspondiente a individuos 0+ (60 mm) y otra en torno a 120 mm.

Las carpas también presentan dos modas en 205 y 280 mm y una ausencia de reclutamiento, mientras que de *Black bass* se obtuvieron pocas capturas como para observar una estructura poblacional clara.

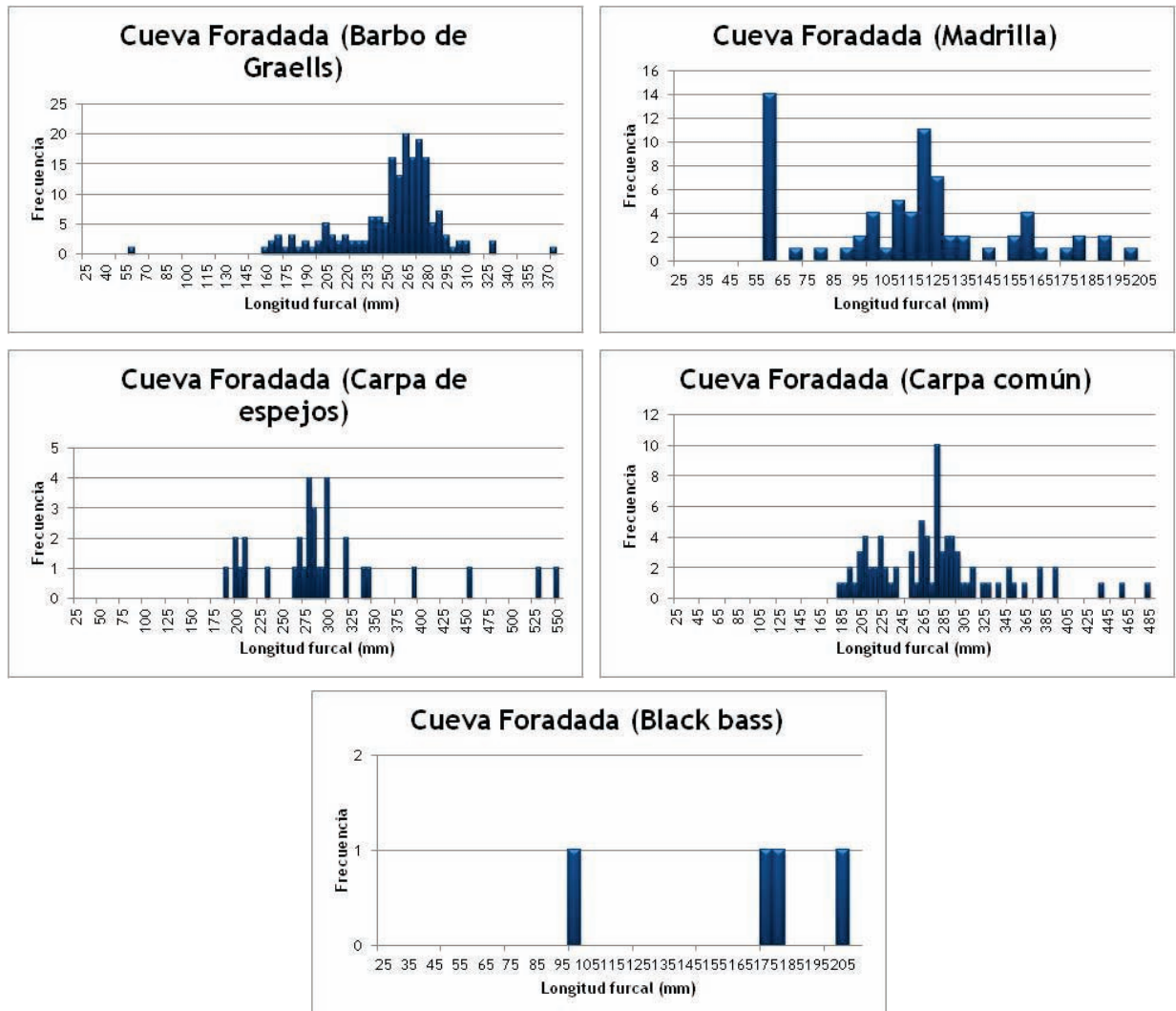


Figura 19. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm

Resultados de la pesca eléctrica

El total de capturas con pesca eléctrica fue de 37 peces con un peso total de 14 kg, lo que supone 16 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 5,4 kg de BPUE. Se realizaron un total de 4 transectos que cubrieron 1.046 m de orilla.

La ubicación de los transectos de muestreo se puede observar en el mapa de figura 17, donde se presentó, además, la ubicación de las redes.

En la tabla 6 se facilitan los resultados obtenidos, agregados por especies. Se han capturado 4 especies diferentes.

Tabla 9. Resultados de la pesca eléctrica por especies

	<i>Barbus graellsii</i>	<i>Micropterus salmoides</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	<i>Parachondrostoma miegii</i>	Total
Capturas	13	3	15	4	2	37
CPUE	5	2	7	2	1	16
% CPUE	33%	11%	42%	10%	4%	100%
MCPUE	1,4	0,4	1,7	0,4	0,2	4,0
PF total (g)	3.968	180	7.023	2.651	118	13.940
BPUE (g)	1.575	94	2.795	887	37	5.388
% BPUE	29%	2%	52%	16%	1%	100%
MBPUE	394	24	699	222	9	1.347
Long furcal media (mm)	243	152	275	291	167	250
Peso medio (g)	305	60	468	663	59	377

Es posible apreciar que en las zonas litorales, los resultados difieren ligeramente de los de la zona pelágica. Las especies autóctonas, en especial la madrilla, pierden importancia frente a las alóctonas en lo que respecta a la abundancia. Destaca el aumento en la presencia del Black bass, como suele ser habitual, en las zonas cercanas a la orilla.

Las estimaciones de biomasa del litoral, ofrecen resultados muy similares con la carpa dominando con cerca del 70% de la biomasa de la asociación.

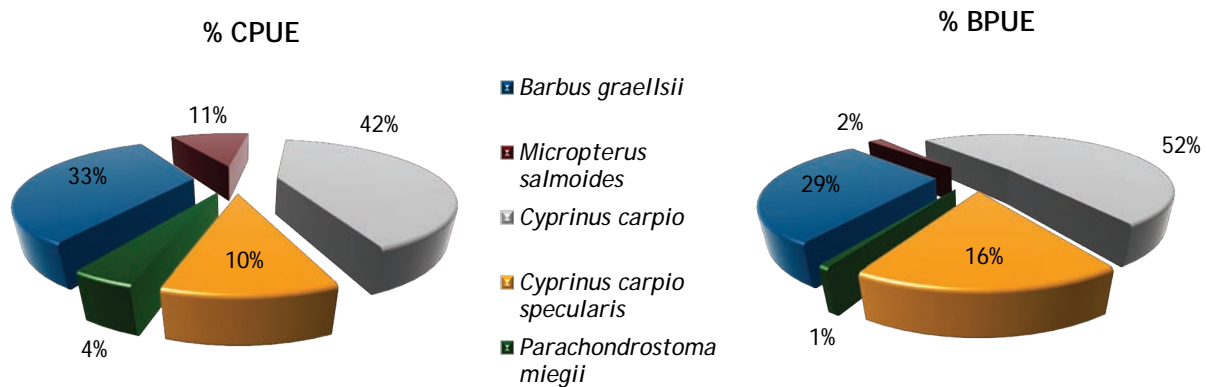


Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

4.3. Biomasa

Una vez presentados los datos obtenidos mediante las dos técnicas de prospección (hidroacústica y muestreo directo), se integran los resultados para obtener unas estimaciones de densidad y biomasa, por especies, para el conjunto del sistema.

En la tabla 7 se presentan los resultados del análisis de biomasa por celdas.

Tabla 10. Biomasa de peces por estratos (g/m^2) estimada mediante acústica

Estrato	Biomasa media (g/m^2)	Biomasa máxima (g/m^2)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
1	5,78	109	144	74	16,14
2	5,78	159	78	22	18,88
3	0,49	2	11	4	0,66

La biomasa media del embalse se calcula sumando las biomasa de cada uno de los estratos y refiriéndolo a la superficie del embalse, de esta manera se obtiene una biomasa media de **$8,12 \text{ g/m}^2$** , o lo que es lo mismo: **$81,2 \text{ kg/ha}$** .

Se trata de un valor elevado de biomasa, que como en el caso de la densidad, está fuertemente condicionado por el bajo nivel del embalse. La corrección en el caso de la densidad no es tan evidente, ya que está referida a unidad de superficie y no se dispone de información acerca de la superficie media del embalse a lo largo del año hidrológico. En cualquier caso, se puede asegurar que no experimentará variaciones tan significativas como la densidad, al estar referida a superficie en lugar de a volumen.

La distribución espacial de la biomasa de peces se presenta interpolada en las láminas 4 a 6 (ANEJO III) para los tres estratos considerados.

En las siguientes figuras se sitúan geográficamente las celdas de análisis para cada uno de los estratos y se representa mediante símbolos graduados la biomasa de cada celda de análisis. Se han empleado como valores de corte la mitad de la biomasa media del embalse, la biomasa media y el doble de la misma.

Las dos primeras capas presentan biomasa medias iguales, y muy superiores a las del estrato inferior. La distribución de la biomasa presenta un patrón de distribución horizontal más heterogéneo que el de la densidad, propiciado posiblemente por bancos de grandes

peces. En este sentido, durante el muestreo se observaron en superficie bancos formados por grandes carpas.

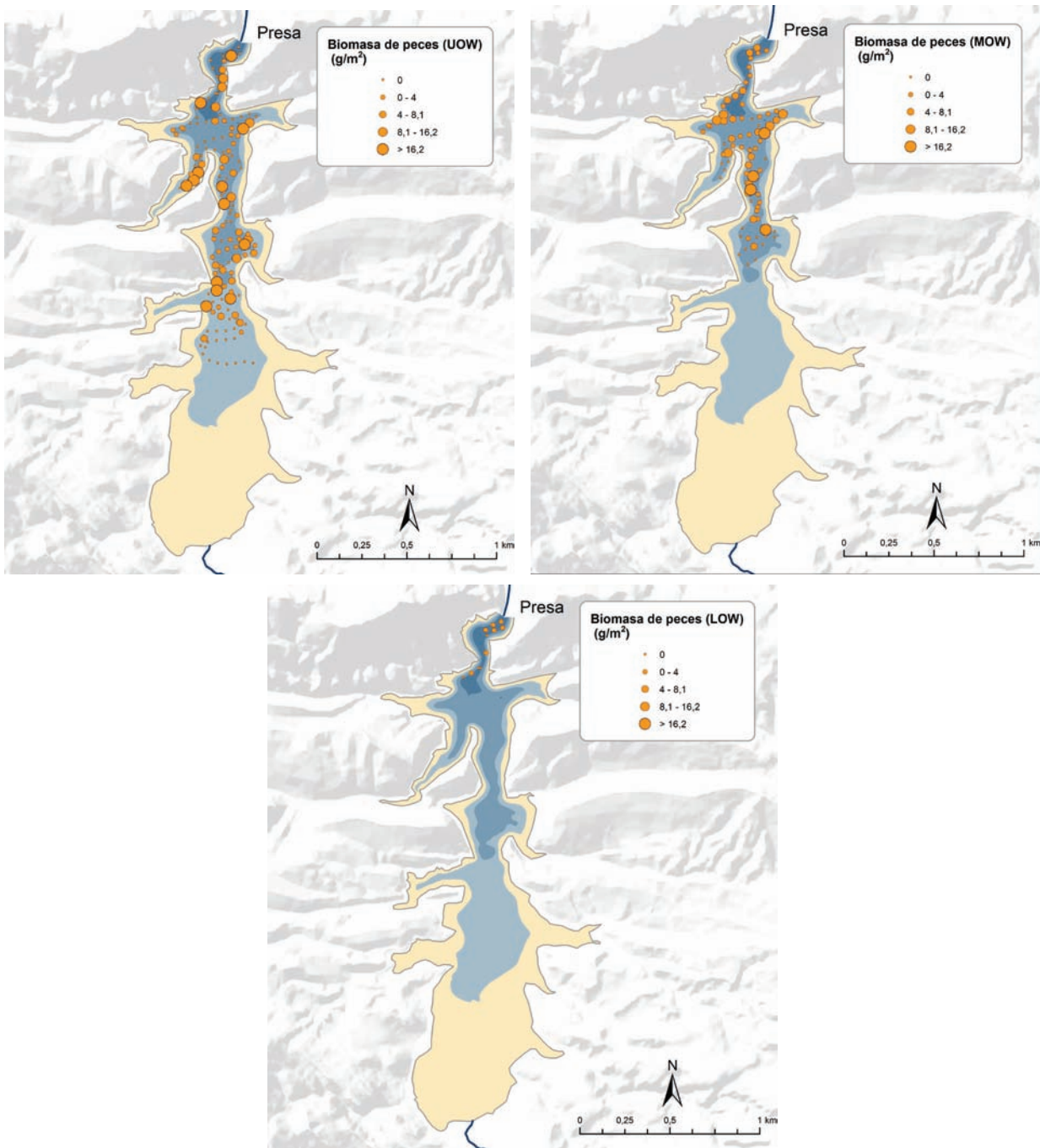


Figura 21. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces

Además de las evaluaciones ofrecidas anteriormente (obtenidas como media aritmética de las celdas de análisis), se han calculado los mismos parámetros poblacionales mediante métodos geoestadísticos, a partir de los mapas interpolados presentados en el anejo III.

Esta forma de evaluación la densidad y biomasa del embalse, está condicionada por el método y configuración de la interpolación por lo que por su estandarización se hace más difícil y con ello la comparabilidad de resultados de los diferentes sistemas.

En la tabla siguiente se presentan los resultados de biomasa obtenidos para el embalse de Cueva Foradada.

Tabla 11. Estimaciones de biomasa obtenidas mediante métodos geoestadísticos

Estrato	Biomasa media (g/m ²)	Desviación típica
1	5,07	9,50
2	5,15	10,01
3	0,45	0,19
Total	7,15	

Se aprecia que las biomásas obtenidas son ligeramente inferiores, tanto por estratos como para el conjunto del embalse. Las escasas diferencias nos indican que ambos métodos de cálculo son equivalentes para el caso de Cueva Foradada.

4.3.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro

En el diagrama de barras siguiente se presentan los resultados de biomasa obtenidos en Cueva Foradada en comparación con otros embalses de la Cuenca del Ebro donde se ha trabajado con técnicas hidroacústicas y se dispone de datos cuantitativos de densidad y biomasa. La línea roja representa el valor promedio de los embalses considerados.

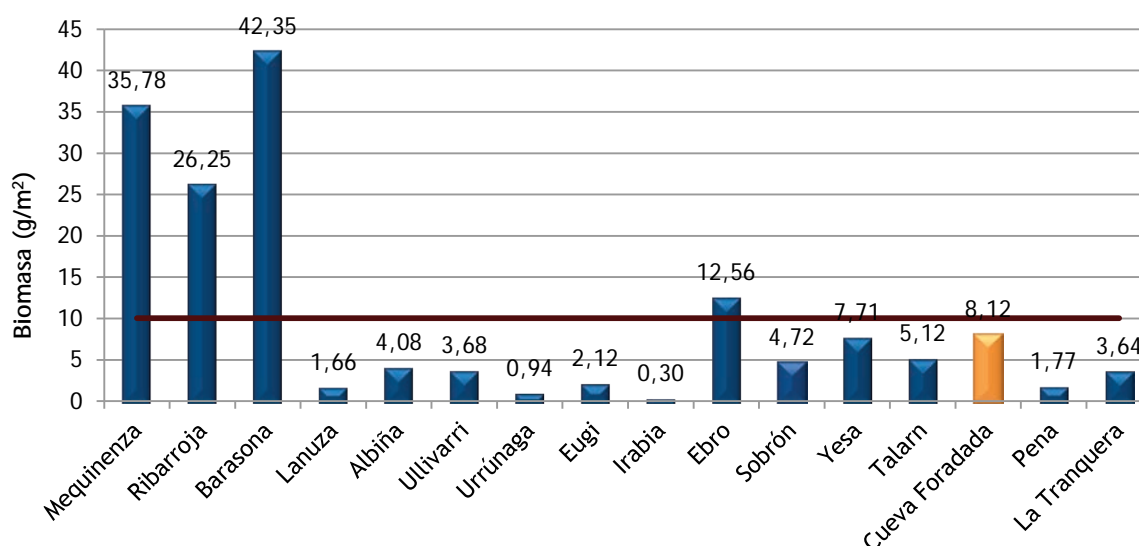


Figura 22. Comparación de la biomasa con otros embalse de la cuenca del Ebro

4.4. Densidad y biomasa por especies

Para poder ofrecer una estima de las densidades y biomasa por especies, es necesario aplicar la distribución de especies obtenidas mediante muestreo directo a las densidades y biomasa obtenidas mediante acústica.

En las tablas que se muestran a continuación se han calculado la densidad y biomasa relativas por especie, referidas a volumen (dm^3) y superficie (m^2) respectivamente, para el conjunto del embalse.

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

	<i>Barbus graellsii</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	<i>Micropterus salmoides</i>	<i>Parachondrostoma miegii</i>	Total
Densidad media (ind/dam ³)	4,68	2,10	1,00	0,05	3,37	11,21
Abundancia Total (ind)	9.930	4.451	2.123	114	7.151	23.770
Biomasa media (g/m ²)	3,62	2,73	1,55	0,02	0,20	8,12
Peso total (kg)	1.706	1.290	732	9	94	3.831

En este cuadro se resumen las observaciones ya realizadas en cuanto a la abundancia y biomasa de las especies, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. La asociación está dominada en densidad por barbos y madrillas, mientras que las carpas tienen una importancia relativa alta por su aporte a la biomasa del embalse.

5. APROXIMACIÓN AL POTENCIAL ECOLÓGICO BASADO EN PECES

Aunque este método de muestreo se ha aplicado en una reducida, aunque creciente, población de embalses de la Península Ibérica, los resultados ofrecen una buena idea del tipo información que se obtiene, y de las mayores posibilidades de evaluación del potencial ecológico que aporta.

Destaca en este sentido el carácter sistemático de los muestreos, que arroja información relacionada con la disponibilidad de los diferentes tipos de hábitat dentro de la masa de agua, como fácilmente se puede apreciar en los fuertes gradientes de distribución de la densidad y biomasa de peces que plasman en los respectivos mapas; esto permitirá normalizar los resultados según sus características hidromorfológicas, que en el caso de los embalses quedan claramente supeditadas al manejo hidráulico y a 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

Además de la evaluación del potencial ecológico basado en las comunidades de peces que se ofrece más adelante de forma tentativa, se destacan las siguientes características, que podrían condicionar una evaluación definitiva:

- Densidad y biomasa elevadas, probablemente condicionadas por las bajas reservas con que contaba el embalse en el momento del muestreo.
- Dominio en densidad de especies autóctonas, el barbo y la madrilla
- Las especies alóctonas presentes, carpas y *black bass*, están ligadas a sistemas lénticos y con limitada capacidad de colonización del medio fluvial aguas arriba del embalse.
- Dominio (aunque no claro) en biomasa de las especies alóctonas, principalmente carpas.

Como se ha apuntado en apartado de metodología, como aproximación a la evaluación del potencial ecológico, se ha empleado el QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*), aún en proceso de desarrollo, pero que de forma tentativa, nos ofrece una primera idea del potencial ecológico basado en los peces.

El potencial ecológico del embalse es **bueno** según esta metodología. En la tabla siguiente se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de Cueva Foradada:

Tabla 13. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Cueva Foradada

Métrica	CFO12
LOG_BIO	4,91
LOG_BIO_native	4,58
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_PISC_Exotic	2,28
LOG_BIO_ciprin_native	4,58
QFBI	-0,27
Potencial	Bueno

6. CONCLUSIONES

Aparte de las consideraciones que se desprenden del resumen de resultados que se facilita a continuación, es notable la información diferencial que ofrecen los métodos empleados (hidroacústica y redes agalleras multipaño) sobre otros aspectos diferentes a la mera composición poblacional, que por otro lado no siempre queda debidamente recogida con métodos cualitativos basados en el uso de trasmallos. Surgen así nuevos matices y posibilidades de evaluación, que permitirán en su momento alcanzar un diagnóstico más fiel a la situación real de la ictiofauna y que también evidencian rasgos directamente vinculados a la interpretación de las presiones y a las posibles medidas correctoras.

Se resumen seguidamente los aspectos más destacados de los resultados obtenidos:

Se han encontrado las siguientes **especies**: *Black bass* (*Micropterus salmoides*), carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpa de espejos (*Cyprinus carpio specularis*), alóctonas y barbo de Graells (*Barbus graellsii*), y madrilla (*Parachondrostoma miegii*) autóctonas.

La **asociación de peces** está dominada en densidad por el barbo con un 42% de la abundancia seguida por la madrilla (30%) y carpas (28%). En lo que respecta a la biomasa, la carpa domina la asociación con un 53%, seguida por el barbo (45%).

La asociación de las zonas litorales difiere ligeramente de la de las aguas libres. Las especies alóctonas, carpas y *black bass* dominan en densidad y biomasa.

La **densidad media de peces**, a partir de la interpolación en celdas de 50 m, es de **11,2 ind/dam³**. Ese valor de densidad se puede considerar alto y está condicionado por las bajas reservas en las fechas de muestreo. Si se corrige el valor de la densidad al volumen embalsado medio a lo largo del año se obtiene una densidad de **2,6 ind/dam³**.

La **biomasa** de peces obtenida en el embalse es de 8,1 g/m², o lo que es lo mismo, **81 kg/ha**, se trata de un valor elevado. A diferencia del caso de la densidad, la corrección para biomasa no es directa, si bien no se espera una reducción tan drástica en este valor, al estar referido a superficie.

Si bien no se dispone todavía de un sistema aprobado de evaluación del potencial ecológico basado en el indicador peces, se ha aplicado como primera aproximación el QFBI a partir del cual se ha obtenido un potencial ecológico "Bueno".



7. GLOSARIO

BPUE: Biomasa por Unidad de Esfuerzo. El peso de las 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.

CPUE: Captura 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.

Ping: un ping es un impulso acústico generado por la ecosonda; a efectos prácticos se puede considerar como una muestra de la columna de agua.

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 3dB más que otro, es lo mismo que decir que refleja dos veces más energía. Un blanco de -20dB, un atún o un siluro de gran talla quizás, produce un eco 10.000 veces más fuerte que un blanco de -60dB, 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 el ratio señal/ruido de una ecosonda. Este es uno de los aspectos en los que se diferencian las ecosondas científicas de las que 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.

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:

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



8. BIBLIOGRAFÍA

CEN EN 14757:2.006. Water quality - Sampling of fish with multi-mesh gillnets.

CEDEX, 2005. Directiva 200/60/CE. Análisis de las características de las Demarcaciones. Caracterización de los tipos de ríos, lagos y embalses (versión 5.0). Ministerio de Medio Ambiente, Madrid. 313 Págs.

CHE (2009). Guía de campo de Peces de la Cuenca del Ebro.

CHE (2012). Control del Estado de las Masas de Agua C.E.A.S. Informe de situación año 2011.

Doadrio, I. (2.001). Atlas y libro rojo de los peces continentales de España. Madrid, MMA. Dirección General de Conservación de la Naturaleza.

Embalses.net. Estado de los embalses y pantanos de España (2010). <http://www.embalses.net/>.

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

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

SAIH Ebro. <http://195.55.247.237/saihebro/index.php?url=/historicos/peticion>. Diciembre 2012.



ANEJO I. ESPECIES PRESENTES



ANEJO II. RESULTADOS DE LAS PESCAS



ANEJO III. MAPAS
