



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

2020

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



ÁREA DE CALIDAD DE AGUAS
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO





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

PROMOTOR:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO



SERVICIO:

ÁREA DE CALIDAD DE LAS AGUAS

DIRECCIÓN DEL PROYECTO:

María José Rodríguez Pérez

Vicente Sancho-Tello Valls

EMPRESA CONSULTORA:

Ecohydros SL.



EQUIPO DE TRABAJO:

Agustín P. Monteoliva, Alberto Criado, Alberto Navas, Elena Campo, Laura Miralles, Omar Monteoliva, Iván González, Juan Fuente y María Fernández

PRESUPUESTO DE LA ADJUDICACIÓN:

114.425,25 Euros

CONTENIDO:

MEMORIA/ANEJOS/CARTOGRAFÍA/CD

AÑO DE EJECUCIÓN:

2020

FECHA ENTREGA:

Noviembre 2020



REFERENCIA IMÁGENES PORTADA:

Superior izquierda: Embarcación en el embalse de Lechago

Superior derecha: Ejemplar de barbo de Graells en el embalse de Lechago

Inferior izquierda: Presa del embalse de Lechago

Inferior derecha: Ejemplar de carpa de espejos en el embalse de Lechago

CITA DEL DOCUMENTO: Confederación Hidrográfica del Ebro (2020) Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro: Embalse de Lechago 74 pág. 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 EL EMBALSE DE LECHAGO

El objeto de este informe es la evaluación de la abundancia y biomasa de la biocenosis de peces del embalse de Lechago. Para ello, en noviembre 2020 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.*

*Los resultados determinaron que la asociación del embalse está compuesta por únicamente dos especies: carpa (*Cyprinus carpio*), que aparece en sus dos variedades común y de espejos, y que representa el 65 % de la abundancia y barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) que aporta el 35 % de los efectivos. En lo que respecta a la biomasa, la carpa domina la asociación con un 62%, y el barbo de Graells aporta el 38% restante.*

La densidad estimada fue de $0,41 \pm 0,16$ ind/dam³ y la biomasa de $1,18 \pm 0,45$ g/m², es decir, unos 11,8 kg/ha, que pueden considerarse valores bajos de biomasa.

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 ni de anguila europea ni de trucha común en el embalse de Lechago, confirmando en este caso los resultados obtenidos en los muestreos directos. Esto implica que, con alta probabilidad, ni la anguila europea ni la trucha común habitan estas masas de agua.

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".

HYDROACOUSTIC SOUNDING IN RESERVOIRS OF THE EBRO RIVER BASIN DISTRICT: LECHAGO RESERVOIR. YEAR 2020

This report refers to the assessment of the abundance and biomass of the fish biocenosis of the Lechago reservoir. For this purpose, in October 2020 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 sounding using hydroacoustic techniques.

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

*The results determined that the reservoir association is composed of only two species: carp (*Cyprinus carpio*), which occurs in both common and “specularis” varieties, accounting for 65% of the abundance, and Graells barbel (*Luciobarbus graellsii*), which accounts for 35% of the abundance. In terms of biomass, the carp dominates the association with 62%, and Graells barbel contribute the remaining 38%. The estimated density was 3.3 ± 0.1 ind/dam³ and the biomass was 2.5 ± 0.7 g/m², i.e. about 25 kg/ha, which can be considered low biomass values.*

Despite the use of a specific high-resolution method based on genetic detection using environmental DNA, it was not possible to detect the presence of either European eel or brown trout in the Lechago reservoir, confirming in this case the results obtained in the direct sampling methods. This implies that, with high probability, neither European eel nor brown trout inhabit these water bodies.

Although there are no official methods for assessing ecological potential based on fish, in a first approximation currently in the process of revision and publication, the potential obtained is "GOOD".



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CONFEDERACIÓN
HIDROGRÁFICA
DEL EBRO



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.....	15
1.1. PRESTACIONES DE LAS TÉCNICAS APLICADAS.....	16
1.2. INTERÉS DEL ESTUDIO CUANTITATIVO DE LA FAUNA ÍCTICA EN MASAS DE AGUA NO VADEABLES	17
2. ÁMBITO DE ESTUDIO	19
2.1. SITUACIÓN	19
2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA	20
2.3. RÉGIMEN HIDROLÓGICO.....	23
2.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA DEL EMBALSE PERFILES VERTICALES.....	24
2.5. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO.....	27
3. METODOLOGÍA.....	28
3.1. DISEÑO DEL MUESTREO.....	29
3.2. MUESTREOS REMOTOS: HIDROACÚSTICA	30
3.2.1. Prospección hidroacústica	30
3.2.2. Procesado de datos acústicos.....	31
3.3. MUESTREOS DIRECTOS DE PESCA.....	33
3.3.1. Redes agalleras multipaño.....	33
3.3.2. Pesca eléctrica desde embarcación	35
3.4. INTERPOLACIÓN ESPACIAL Y ESTIMACIONES GLOBALES	36
3.5. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL ECOLÓGICO	38
3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGIULA EUROPEA MEDIANTE GENÉTICA AMBIENTAL	39
3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA).....	39
3.6.2. Obtención de ADN ambiental de trucha común y de anguila en muestras de agua.....	40
3.6.3. Detección específica de trucha común	41
3.6.4. Detección específica de anguila europea	41
3.6.5. Estimaciones de biomasa	41
3.7. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO EN EL EMBALSE	42



4. RESULTADOS	44
4.1. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES	44
4.1.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	51
4.2. MUESTREOS DIRECTOS: COMPOSICIÓN Y BIOMASA ESPECÍFICA	52
4.2.1. Especies presentes en el embalse	52
4.2.2. Composición y distribución de especies	53
4.3. BIOMASA.....	57
4.3.1. Comparativa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	61
4.4. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES	62
4.5. MUESTREOS INDIRECTOS: ADN AMBIENTAL	63
4.5.1. Muestras ambientales de agua	63
4.5.2. Detección de trucha común mediante qPCR y estimaciones de biomasa.	63
4.5.3. Detección de anguila europea mediante qPCR y estimaciones de biomasa.....	65
5. APROXIMACIÓN AL POTENCIAL ECOLÓGICO DEL EMBALSE BASADO EN PECES.....	67
6. CONCLUSIONES	69
7. GLOSARIO Y ACRÓNIMOS.....	71
8. BIBLIOGRAFÍA.....	73

ÍNDICE ANEXOS

- Anexo 1. Especies presentes
- Anexo 2. Resultados de las pescas
- Anexo 3. Celdas del muestreo hidroacústico (en versión digital)
- Anexo 4. Mapas interpolados de densidad y biomasa
- Anexo 5. Boletines de ensayo eDNA



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estratos considerados en el embalse de Lechago	23
Tabla 2. Descripción de las redes de muestreo empleadas.....	33
Tabla 3. Métricas y coeficientes para el cálculo del QFBI.....	39
Tabla 4. Valores de corte del QFBI empleados para la clasificación del potencial ecológico.....	39
Tabla 5. Densidad de peces (ind/dam ³) por estratos, estimada mediante acústica	46
Tabla 6. Especies presentes en el embalse	52
Tabla 7. Resultados de las pescas con red por especies	53
Tabla 8. Resultados de la pesca eléctrica por especies	56
Tabla 9. Biomasa de peces por estratos (g/m ²) estimada mediante acústica.....	57
Tabla 10. Densidades (ind/dam ³) y biomاسas (g/m ²) por especie	62
Tabla 11. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de trucha común.....	63
Tabla 12. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de anguila europea	65
Tabla 13. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Lechago	68

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1 Vista de la embarcación de trabajo en el embalse de Lechago	18
Figura 2 Situación en la cuenca y detalle del embalse de Lechago.....	19
Figura 3 Índice NDWI aplicado a la imagen de satélite para identificar la lámina de agua	21
Figura 4 Batimetría del embalse de Lechago.....	22
Figura 5 Evolución del volumen embalsado en el embalse de Lechago durante el ciclo hidrológico 2019/20 (elaboración propia)	24
Figura 6 Perfiles físico-químicos realizados en el embalse de Lechago	26
Figura 7 Técnico realizando el perfil vertical mediante sonda multiparamétrica en el embalse de Lechago	27
Figura 8. Esquema del método de censado de poblaciones ícticas en un embalse.....	29



Figura 9. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico	31
Figura 10. Redes caladas en el embalse de Lechago	34
Figura 11. Pesca eléctrica desde embarcación.....	36
Figura 12. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial	37
Figura 14. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de Lechago	43
Figura 15. Recorridos del sondeo hidroacústico en la zona navegable del embalse de Lechago.....	45
Figura 16. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Lechago	46
Figura 17. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	48
Figura 18. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato medio (MOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.....	49
Figura 18. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	50
Figura 19. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	51
Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante redes	54
Figura 21. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm	55
Figura 22. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica	56
Figura 23. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	58
Figura 24. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (MOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud.....	59
Figura 24. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud	60
Figura 25. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro.....	61
Figura 26. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas	64
Figura 27. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (Cf) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas	66





1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El presente documento constituye el informe final de los trabajos realizados en el embalse de Lechago (MAS87) (Teruel) durante el año 2020, incluidos en la Asistencia Técnica “Sondeo hidroacústico en embalses de la Demarcación Hidrográfica del Ebro” adjudicado a Ecohydros, S.L. por la Confederación Hidrográfica del Ebro (en adelante, CHE).

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

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

En el presente informe se presentan los trabajos realizados en la evaluación de las poblaciones de peces del embalse de Lechago, 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 su estado en función del elemento bioindicador que representa la fauna íctica en el contexto de la Directiva Marco del Agua.

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 ya 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. De hecho, existe ya una norma Europea (CEN, 2014) que contempla este tipo de técnicas para la evaluación de la biomasa de peces.

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 biológica disponible en las masas de agua no vadeables, es decir, no accesibles a las técnicas directas de muestreo, razón por la que ha promovido el presente estudio.

Además, 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 y estado ecológico de las aguas.

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 (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.

Por otro lado, 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. Sin embargo, en nuestro país no se está incluyendo este aspecto de forma sistemática en el caso de las masas de agua profundas, como lagos, embalses y ríos de orden alto (tramos bajos). Esto se ha debido, al menos en parte, a la impresión muy extendida de que se requieren técnicas poco afianzadas para obtener esa



información, nada más lejos de la realidad como se puede constatar en los tratados técnicos (Simmonds & MacLennan, 2005) y en las normas estándar existentes (ver más adelante).

Mediante el presente estudio, se pretende evaluar las poblaciones de peces en el embalse de Lechago, 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 en función del elemento bioindicador que representa la fauna íctica en el contexto de la Directiva Marco del Agua.



Figura 1 Vista de la embarcación de trabajo en el embalse de Lechago



2. ÁMBITO DE ESTUDIO

2.1. SITUACIÓN

El Embalse de Lechago se sitúa en el término municipal de Calamocha, en la provincia de Teruel (Figura 2), regulando las aguas del Río Pancrudo.

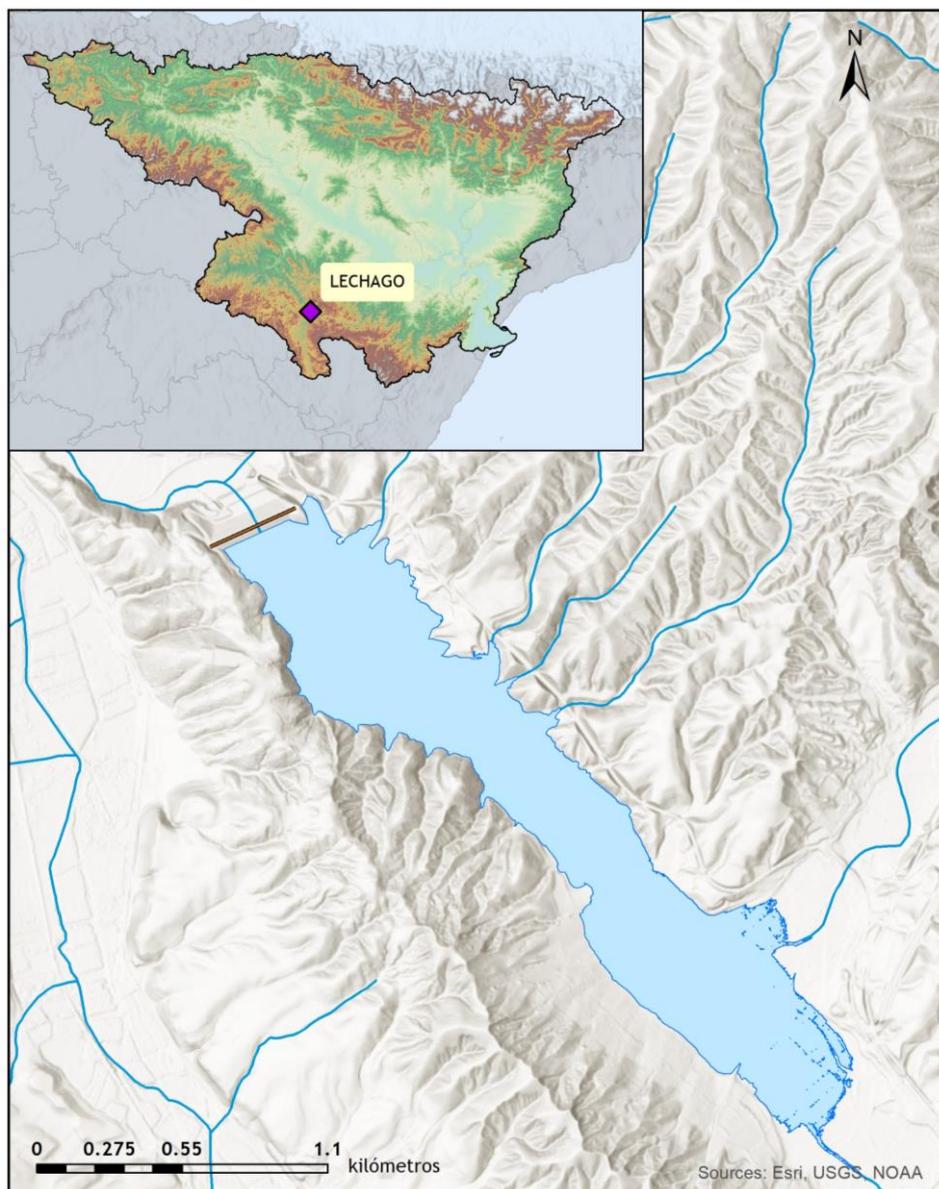


Figura 2 Situación en la cuenca y detalle del embalse de Lechago



Las aguas del embalse de Lechago se destinan principalmente al abastecimiento humano y a paliar el déficit hídrico de los riegos del bajo Jiloca. El embalse de Lechago forma parte del Registro de Zonas Protegidas elaborado por la Confederación Hidrográfica del Ebro, en respuesta al artículo 6 de la Directiva Marco del Agua, en la categoría de zonas de extracción de agua para consumo humano.

2.2. CARACTERIZACIÓN MORFOLÓGICA

El embalse de Lechago tiene una capacidad máxima de 18,16 hm³ y ocupa en su máximo nivel una superficie de 210 ha, con una profundidad máxima de 72 m y media de 17 m.

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

El embalse presentó durante el muestreo (4 a 6 de noviembre de 2020) una profundidad máxima de 23 m y media de 7,9 m; la cota durante esas fechas estaba en el entorno de 886 msnm, que según la hipsometría oficial corresponde a un volumen de embalse de 10,4 hm³, es decir se encontraba aproximadamente al 57 % de su nivel máximo.

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.

Como resultado, se obtiene una imagen en la que se diferencia el embalse de Lechago (Figura 3) y de la que se extrae el polígono del contorno del embalse durante el muestreo, que posteriormente se aplica como frontera en las interpolaciones espaciales. Su superficie es de 126 ha, es decir el 68 % de la máxima superficie del embalse en las fechas del muestreo.



Figura 3 Índice NDWI aplicado a la imagen de satélite para identificar la lámina de agua

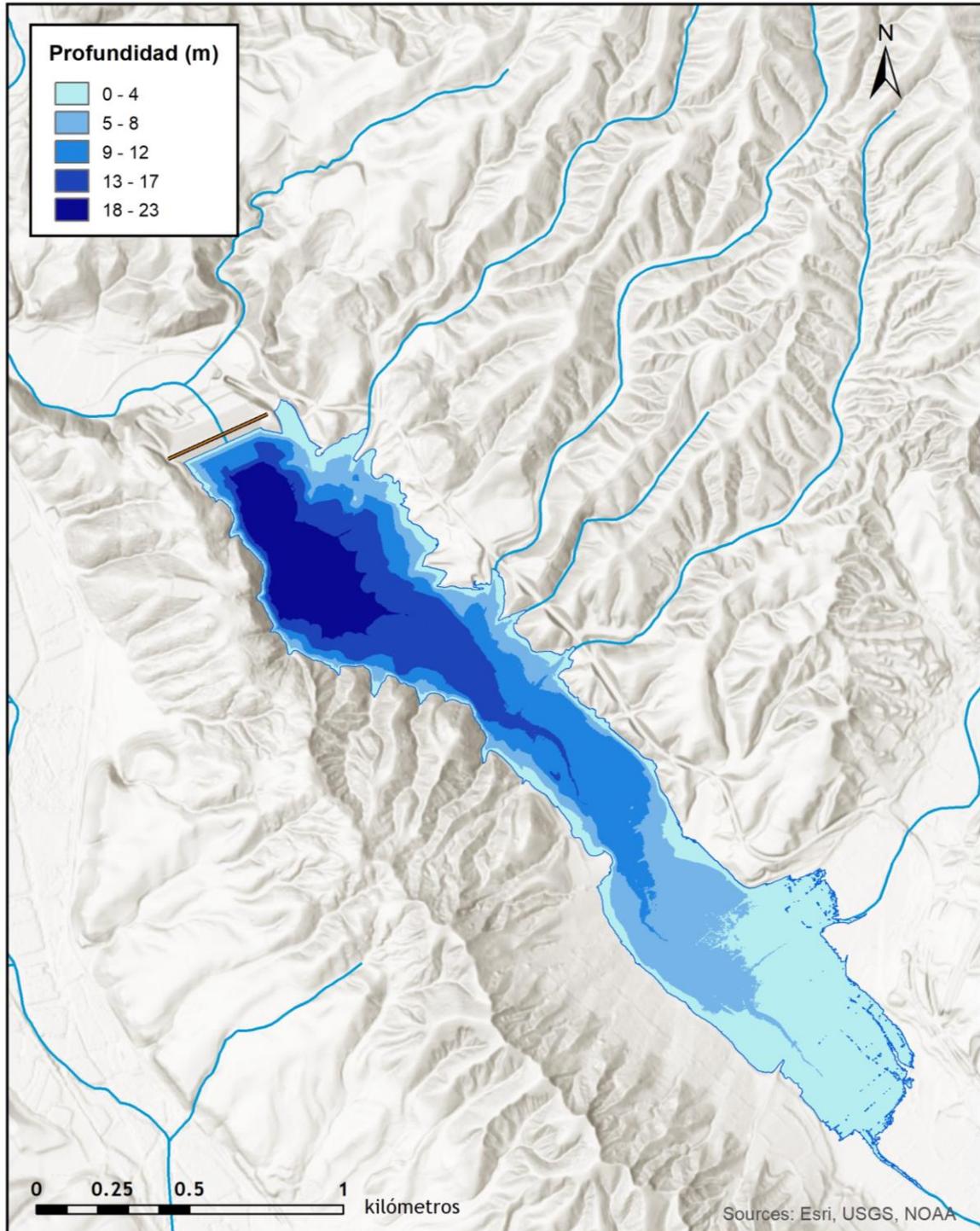


Figura 4 Batimetría del embalse de Lechago



En la Tabla 1 se presentan los volúmenes y superficies de cada uno de los 3 estratos de profundidad considerados en este caso, obtenidos a partir de la batimetría anterior. Los volúmenes de cada estrato se han corregido proporcionalmente para que su suma coincida con el volumen proporcionado por el SAIH (Figura 5). 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 Lechago

Embalse	Sector	Estrato	Profundidad (m)	Volumen (hm ³)	Superficie (ha)
LEC20	1	1	0 a -5	5,04	126,29
LEC20		2	-5 a -15	4,70	69,49
LEC20		3	-15 a -25	0,70	3,30

2.3. RÉGIMEN HIDROLÓGICO

Como se aprecia en la figura siguiente, el nivel del embalse de Lechago ha ido aumentando progresivamente durante todo el año hidrológico pasando de un volumen de 6 hm³ a 10 hm³. En la fecha de muestreo (4/11/2020), marcada con una línea roja, el embalse mantenía una reserva de 10,4 hm³ de agua, que corresponde aproximadamente a un 57 % de su capacidad.

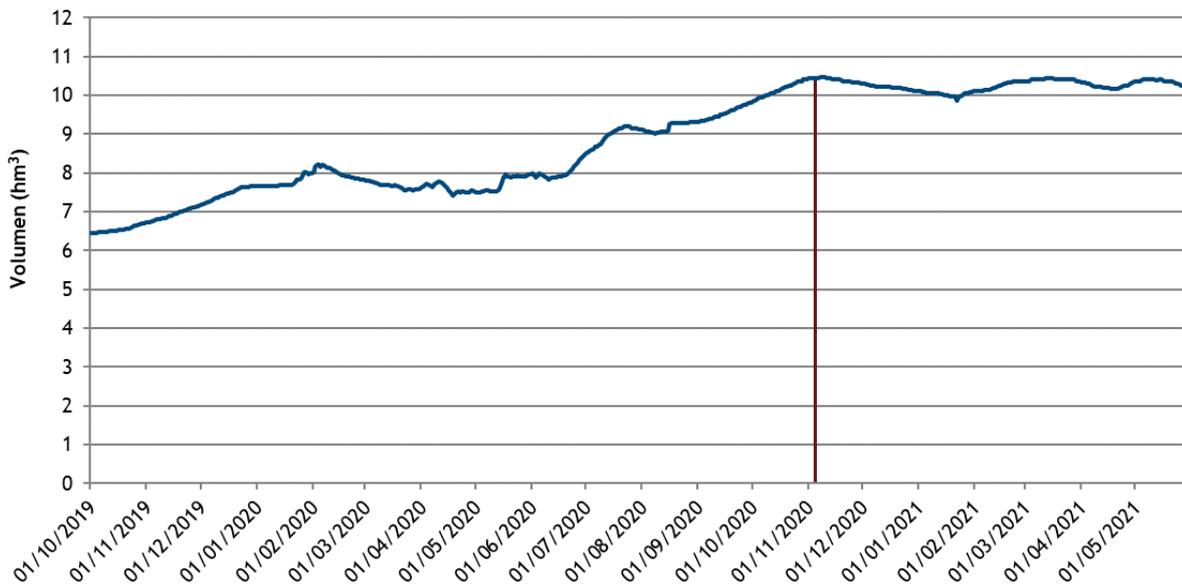


Figura 5 Evolución del volumen embalsado en el embalse de Lechago durante el ciclo hidrológico 2019/20 (elaboración propia)

2.4. CARACTERIZACIÓN FÍSICO QUÍMICA 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 ficha siguiente 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.

En el perfil de la zona de cabecera la profundidad es de 12 m y la columna de agua se encuentra completamente mezclada en el momento del muestreo, pero hay un ligero déficit de oxígeno disuelto que transcurre desde aproximadamente el 20% en superficie al 25% en el fondo, lo que refleja una mezcla reciente y/o una demanda elevada desde los sedimentos. En



todo caso, ni la concentración de oxígeno disuelto ni la temperatura llegan a ser limitantes para la vida de los peces.

El pH es ligeramente básico (8,1 uds.) y constante en la columna de agua, lo mismo que ocurre con la conductividad eléctrica, que presenta un valor elevado (1.235 $\mu\text{S}/\text{cm}$) que refleja un alto contenido en sales disueltas. La biomasa del fitoplancton es baja (3,2 $\mu\text{g}/\text{L}$ de fluorescencia *in vivo* de la clorofila a) en el promedio de la zona fótica que únicamente alcanza los 5 m de espesor debido a la escasa transparencia del agua (2 m).

El embalse se encontraba 5 metros por debajo de su nivel máximo durante las fechas de muestreo.

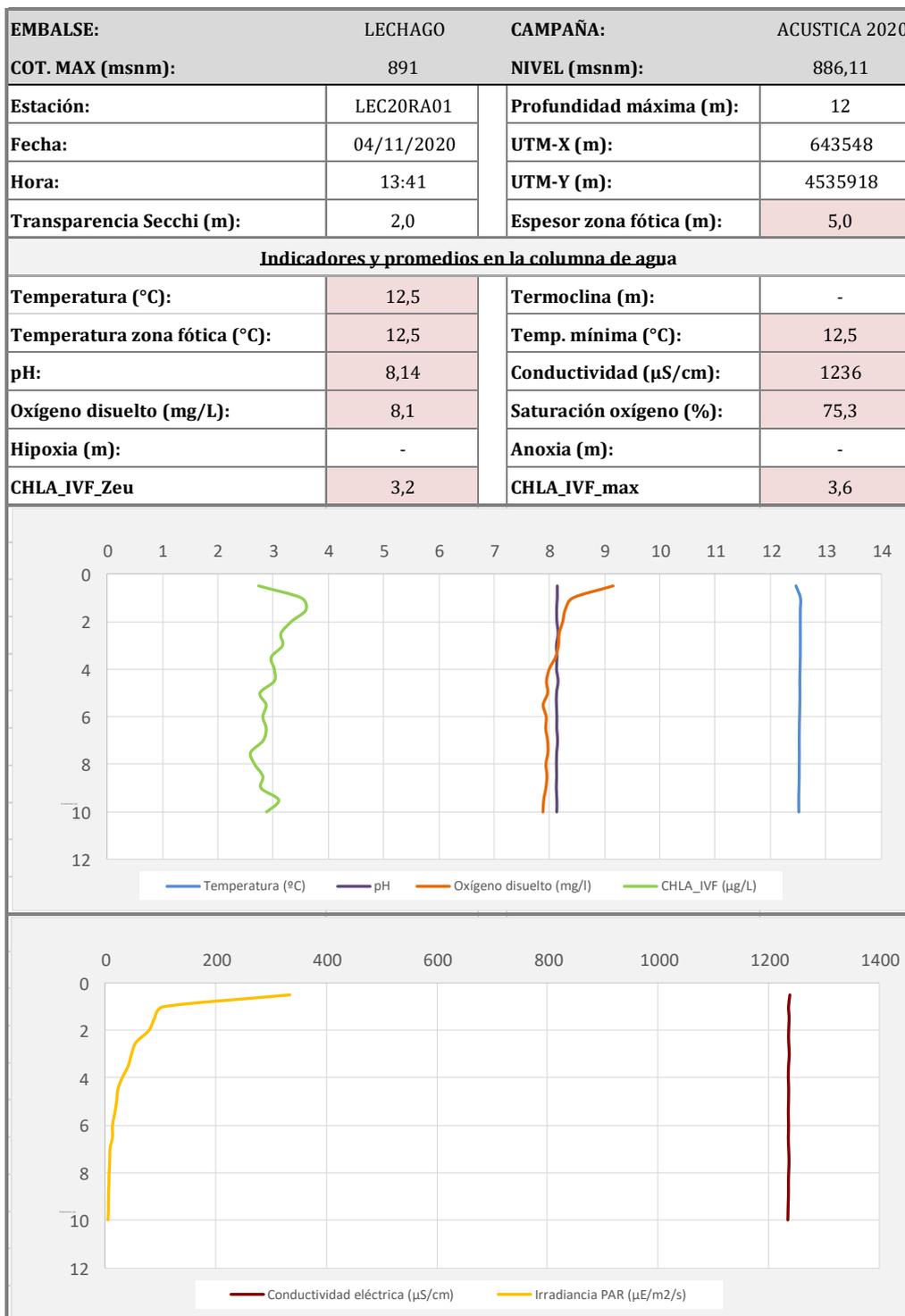


Figura 6 Perfiles físico-químicos realizados en el embalse de Lechago



Figura 7 Técnico realizando el perfil vertical mediante sonda multiparamétrica en el embalse de Lechago

2.5. POTENCIAL ECOLÓGICO Y ESTADO TRÓFICO

Se trata de un embalse monomítico, calcáreo de zonas húmedas, perteneciente a ríos de la cabecera y tramos altos, que permite su catalogación en el tipo E-T07, según el RD 817/2015, Anexo 2, Apartado C, del 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 (RDSE). A pesar de esta clasificación, y como se comprueba en el momento del muestreo, es un embalse polimítico, ya que no llega a estratificar dado su pequeño volumen y profundidad.



El embalse está incluido en la red de vigilancia y en la red operativa y ha sido catalogado como oligotrófico y con potencial ecológico Moderado, según el Informe de Seguimiento Biológico de Embalses del año 2018 (CHE, 2018).

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 8, 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

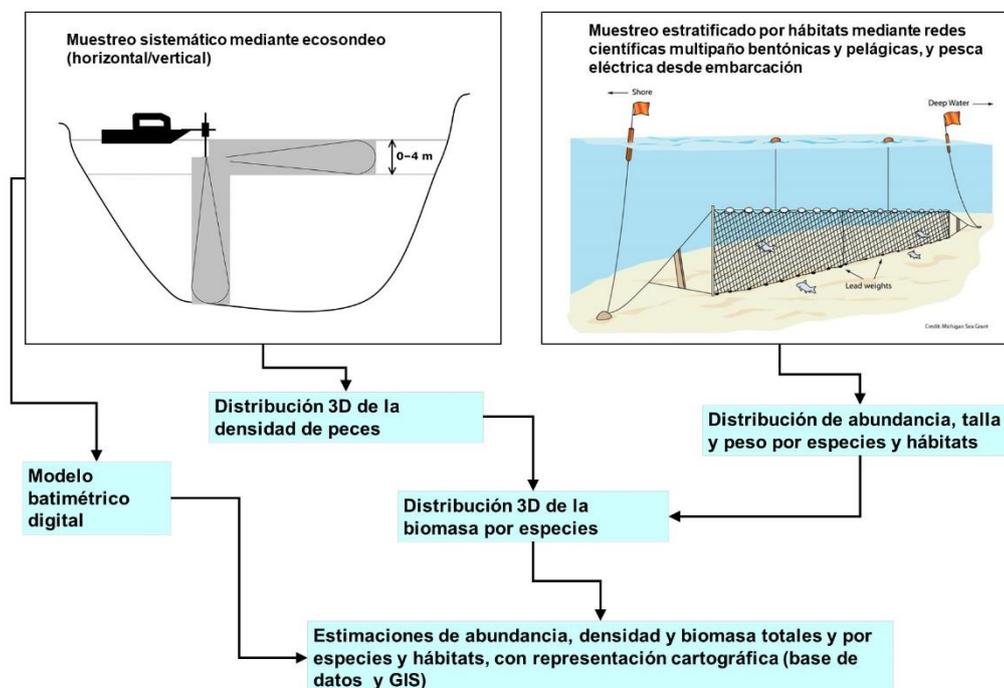


Figura 8. Esquema del método de censo de poblaciones ícticas en un embalse

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 4 y 5 de noviembre de 2020.

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.

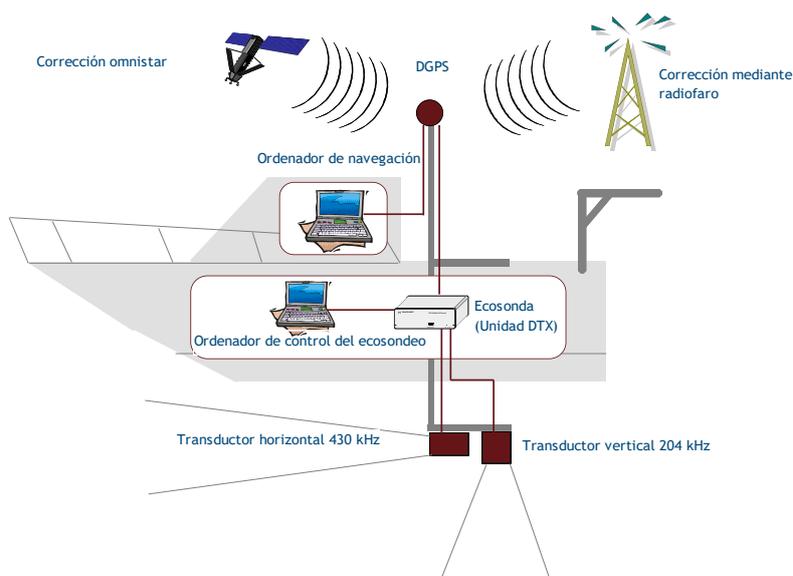


Figura 9. Esquema de la disposición de elementos y comunicaciones en el sondeo acústico

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

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

3.2.2. *Procesado de datos acústicos*

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



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

En este embalse, dado que la densidad de peces no es excesiva se ha aplicado a los ecogramas del sondeo vertical una variante de la técnica de detección de ecos, consistente en aislar rastros o trazas de peces, que son los que se utilizan para estimar la abundancia, dividiendo por el volumen de agua insonificada en cada celda de análisis.

En este caso, la distribución de la intensidad de los ecos en cada rastro, corregida con la distancia al eje, se utiliza para estimar la talla acústica del pez.

Los datos acústicos brutos han sido corregidos mediante la función TVG (ganancia cronovariable) específica para ecoconteo (40LogR) y para eointegración (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 objetivo en el espacio tridimensional formado por el haz acústico.

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. 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 despliega, de tal manera que hay redes bentónicas (caladas al fondo), y 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
12 * 1,5	12 * 2,5	5 - 55	30 * 1,5	1
12 * 6	11 * 2,5	6,25 - 55	27,5 * 6	3,66
16 * 1,5	16 * 2,5	5 - 135	40 * 1,5	1,33
16 * 6	15 * 2,5	6,25 - 135	37,5 * 6	5
4 * 1,5	4 * 10	70 - 135	40 * 1,5	1,33
4 * 6	4 * 10	70 - 135	40 * 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”. En este caso, el diseño muestral no responde a un carácter sistemático sino estratificado por sectores y hábitats.



Figura 10. Redes caladas en el embalse de Lechago



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 11. Pesca eléctrica desde embarcación

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 30. Todos los mapas e ilustraciones que se incluyen en el presente Estudio se han representado en este sistema de referencia.

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

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

Para ello en primer lugar se ha ajustado una curva al semivariograma (ver ejemplo en la Figura 12) 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.

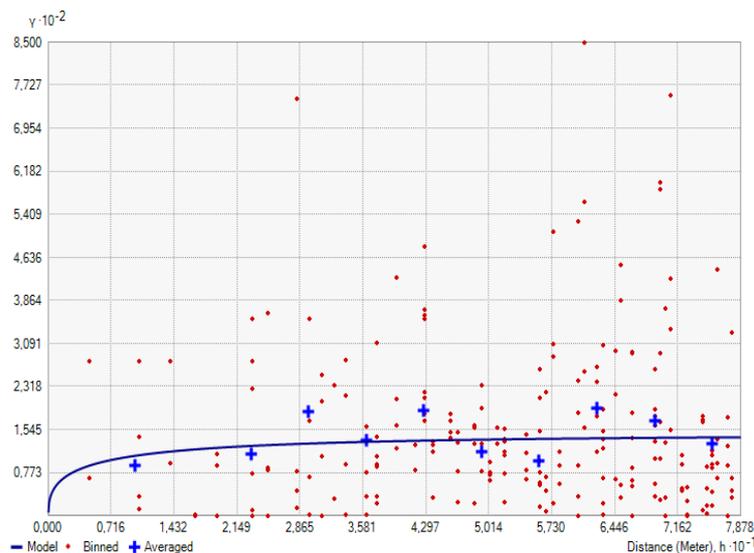


Figura 12. Ejemplo de ajuste de curva al semivariograma para el interpolado espacial

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

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



3.5. EVALUACIÓN 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” (Expte.: 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 con datos de ámbitos geográficos más amplios.

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 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

3.6. DETECCIÓN DE TRUCHA COMÚN Y ANGUILA EUROPEA MEDIANTE GENÉTICA AMBIENTAL

3.6.1. Muestreo de ADN ambiental (eDNA)

Para la detección de trucha común (*Salmo trutta*) y de anguila (*Anguilla anguilla*) se tomaron muestras de 1L de agua en 3 puntos del embalse a 3 niveles de profundidad en cada punto: superficial, bentónico y pelágico (9-15 m de profundidad). La ubicación de los puntos de muestreo se facilita en el apartado 3.7.



Todas las muestras se tomaron justo antes de los muestreos directos realizados para este estudio. Inmediatamente fueron refrigeradas a bordo y congeladas al llegar a tierra para ser almacenadas hasta su procesado.

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

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

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

Antes de proceder con los análisis específicos de detección de trucha común y de anguila, fue preciso confirmar la calidad e integridad de las muestras. Para ello, el ADN ambiental aislado se amplificó con un marcador genético universal del gen ribosomal 18s. Esto permite confirmar la presencia de ADN en las muestras, ya que este marcador amplifica multitud de organismos, y también 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 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 marcador específico y una sonda *TaqMan MGB* (Gustavson et al., 2015, siguiendo las recomendaciones de Fernández et al 2018). El marcador específico de *Salmo trutta* se une y amplifica únicamente al ADN de trucha común, no de otros organismos ni de otras especies de trucha. Si en la muestra ambiental no hay ADN de *Salmo trutta*, no habrá amplificación, ni por tanto señal, ya que la sonda no emitirá fluorescencia. Cuando se produce amplificación, porque hay coincidencia del código de los cebadores (o *primers*) con el del ADN de la muestra, se libera un extremo de la sonda, que pasa a emitir fluorescencia. Con ello es posible detectar, mediante la lectura de fluorescencia, la presencia de la especie y adicionalmente, mediante cálculos, la cantidad de ADN de trucha presente en la muestra.

3.6.4. Detección específica de anguila europea

Para la detección de anguila europea se utilizó un marcador específico de desarrollo propio y validado por Ecohydros tanto *in vitro* como *in situ*. El marcador específico de *Anguilla anguilla* funciona igual que el previamente descrito para *Salmo trutta*; se une y amplifica únicamente el ADN de anguila, pero no al de otros organismos.

3.6.5. Estimaciones de biomasa

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

Se calculó una recta patrón de diluciones seriadas con amplicones del fragmento especie-específico del marcador utilizado para la detección de trucha y el mismo proceso se realizó para la anguila. Estos fragmentos se obtienen mediante PCR convencional de una muestra certificada de trucha común o anguila, dependiendo del caso. Para poder obtener dicha recta patrón, se cuantificó mediante fluorimetría la concentración de amplicones utilizada, pudiendo así calcular posteriormente la concentración de las muestras que corten la recta patrón. La cantidad de ADN



se transforma a moléculas por mL gracias a que conocemos la composición molecular de la secuencia del amplicón correspondiente.

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

3.7. UBICACIÓN DE LOS DIFERENTES PUNTOS DE MUESTREO EN EL EMBALSE

En la siguiente figura 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.

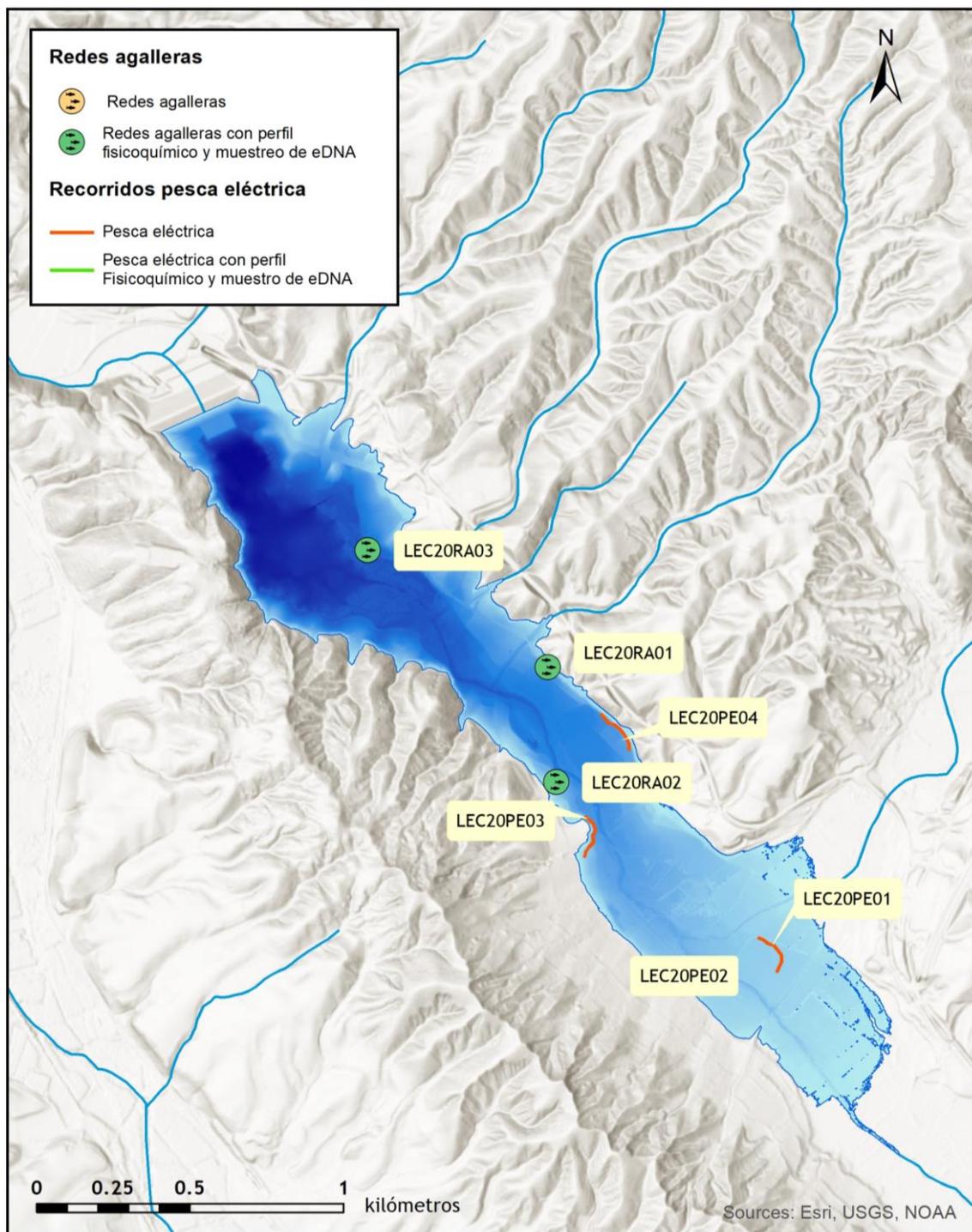


Figura 13. Ubicación de las estaciones de muestreo directo de diferente tipo en el embalse de Lechago



4. RESULTADOS

4.1. SONDEO HIDROACÚSTICO: DENSIDADES

Los recorridos móviles de ecosondeo han cubierto una longitud total de 10,92 km (con dos transductores), lo que supone un valor del índice de cobertura (Da) de 9,72. Los recorridos completos sobre el mapa batimétrico se presentan en la Figura 14.

Obsérvese que los recorridos realizados se circunscriben al contorno del agua (azul) establecido a partir del análisis de imágenes de satélite en fechas cercanas al muestreo, como ya se ha expuesto anteriormente.

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

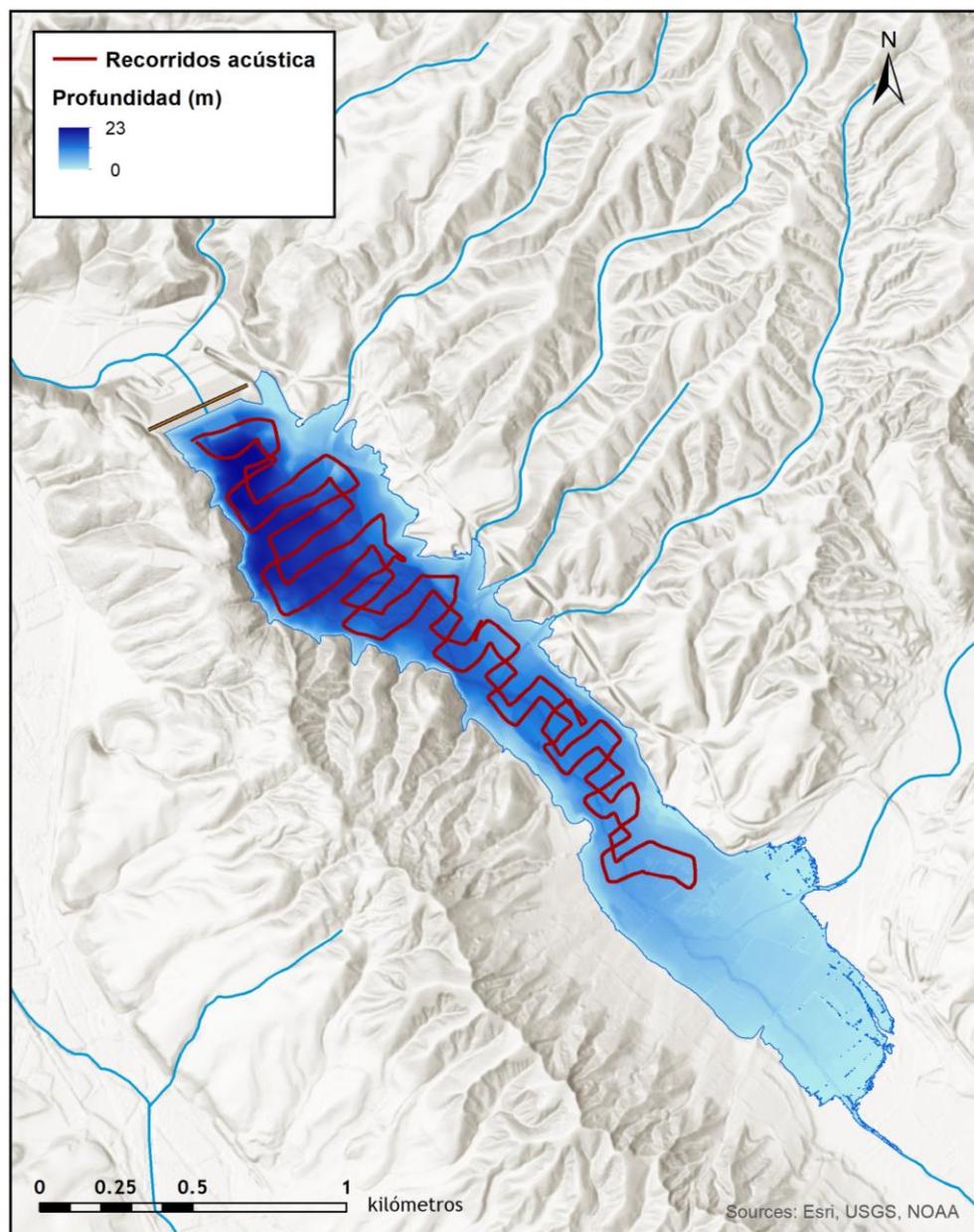


Figura 14. Recorridos del sondeo hidroacústico en la zona navegable del embalse de Lechago

En la Figura 15 se muestra un ejemplo de ecograma durante el muestreo acústico en el embalse de Lechago realizado con haz vertical. Es un ecograma con numerosas señales de muy baja intensidad, procedentes de larvas de insectos, y una capa bentónica con alta reverberación asociada a aguas con acumulación de partículas en sedimentación, en la que se aprecia mayor número de señales de peces individuales. En rojo se representa el fondo del embalse.

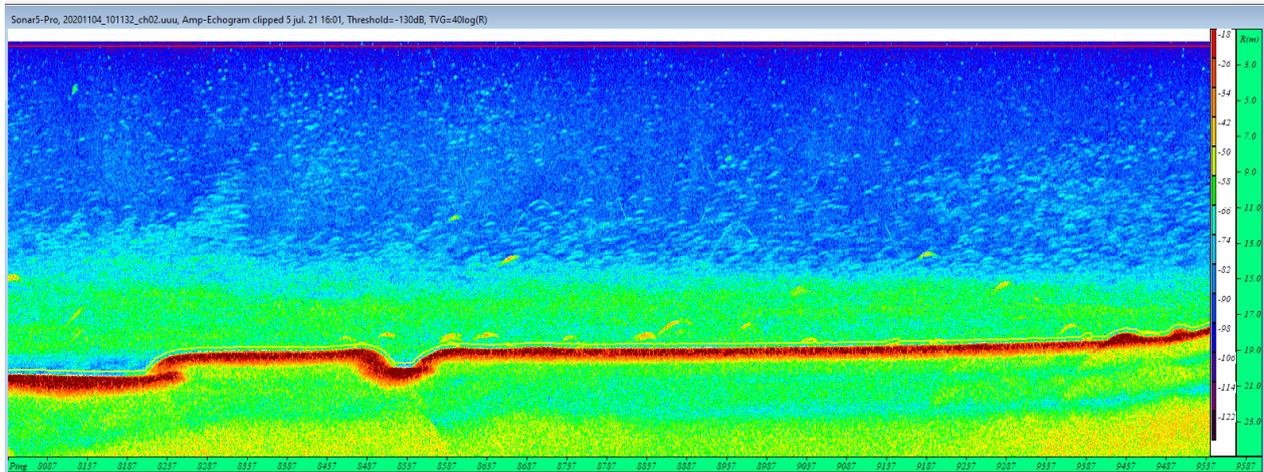


Figura 15. Ejemplo de un ecograma obtenido con el haz vertical en el embalse de Lechago

En la Tabla 5 se ofrecen los estadísticos descriptivos por estratos, tanto para el ecosondeo horizontal como para el vertical. 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/dam^3) por estratos, estimada mediante acústica

Embalse	Sector	Estrato	Densidad media ($\text{ind}/1000\text{m}^3$)	Densidad máxima ($\text{ind}/1000\text{m}^3$)	Número de casos	Número de casos con valor 0	Desviación típica
LEC20	1	1	0,09	3,42	213	104	0,32
LEC20		2	0,71	15,36	207	159	1,99
LEC20		3	0,76	10,31	74	61	2,06

Estos valores medios se han ponderado con el volumen de cada estrato y sector (Tabla 1), para obtener una densidad total del embalse de $0,41 \pm 0,16 \text{ ind}/\text{dam}^3$. Se trata de un valor bajo, propio de sistemas poco productivos o carentes de especies gregarias. La distribución espacial de la densidad de peces se presenta interpolada en las láminas 1, 2 y 3 (ANEXO 4).



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

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

Se aprecia que los peces tanto en el estrato superior (UOW) (Figura 16), como en el estrato inferior (LOW) (Figura 17) se distribuyen de una forma relativamente homogénea a lo largo del cuerpo principal del embalse. Las densidades son más altas en el estrato intermedio (MOW), que transcurre de 5 a 15 m de profundidad y se aprecia una querencia mayor por la zona cercana a la cola dentro de este estrato.

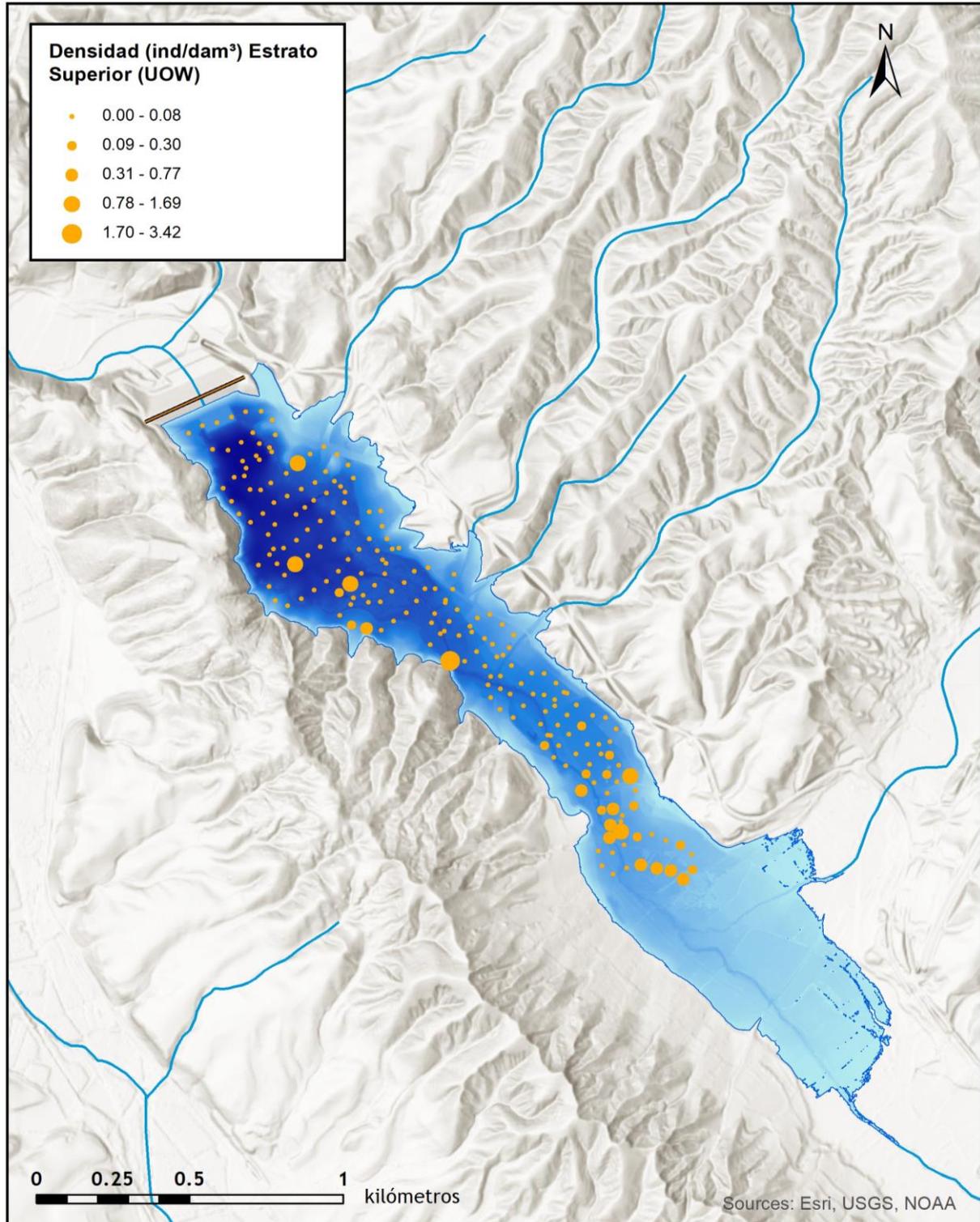


Figura 16. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

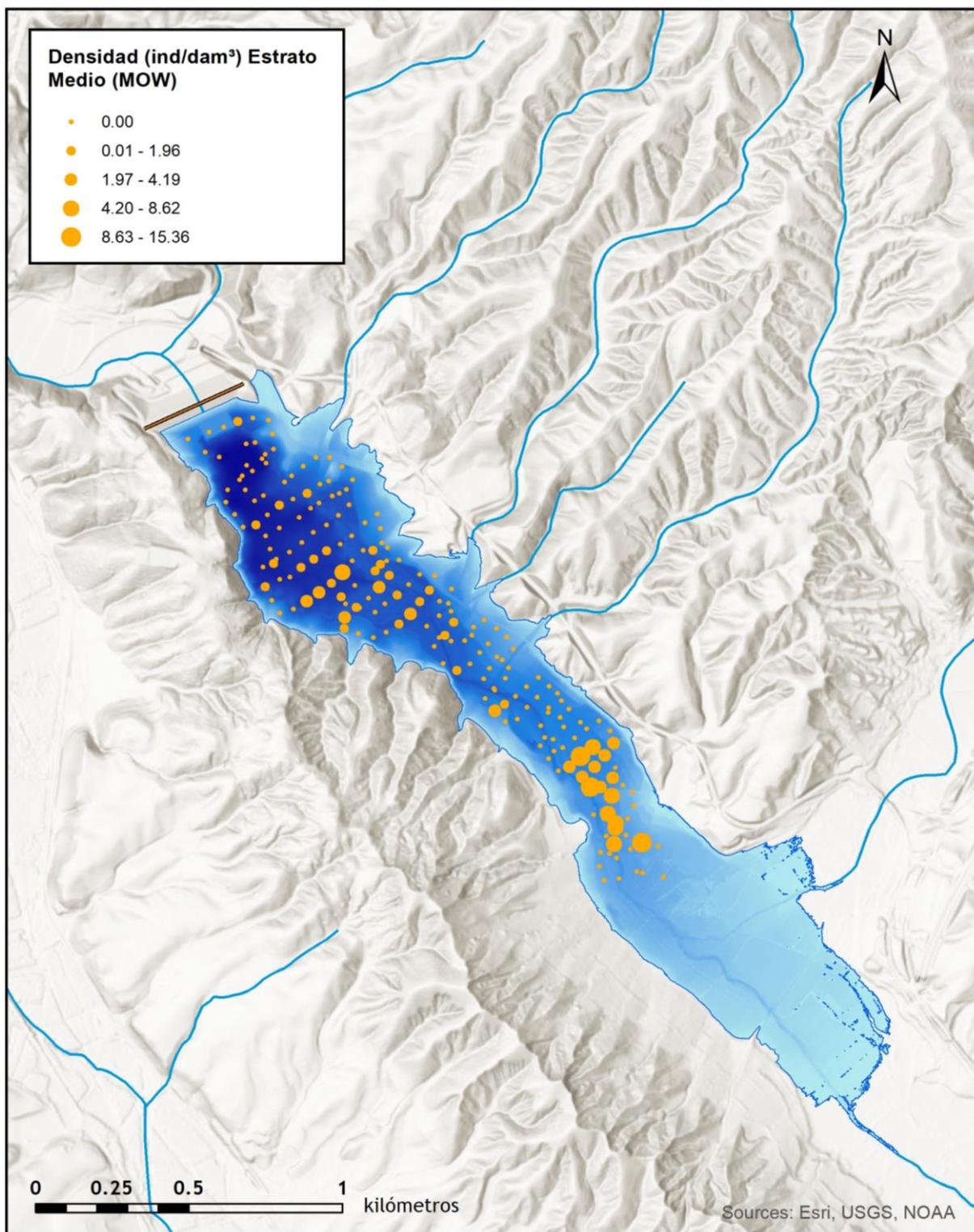


Figura 17. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato medio (MOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

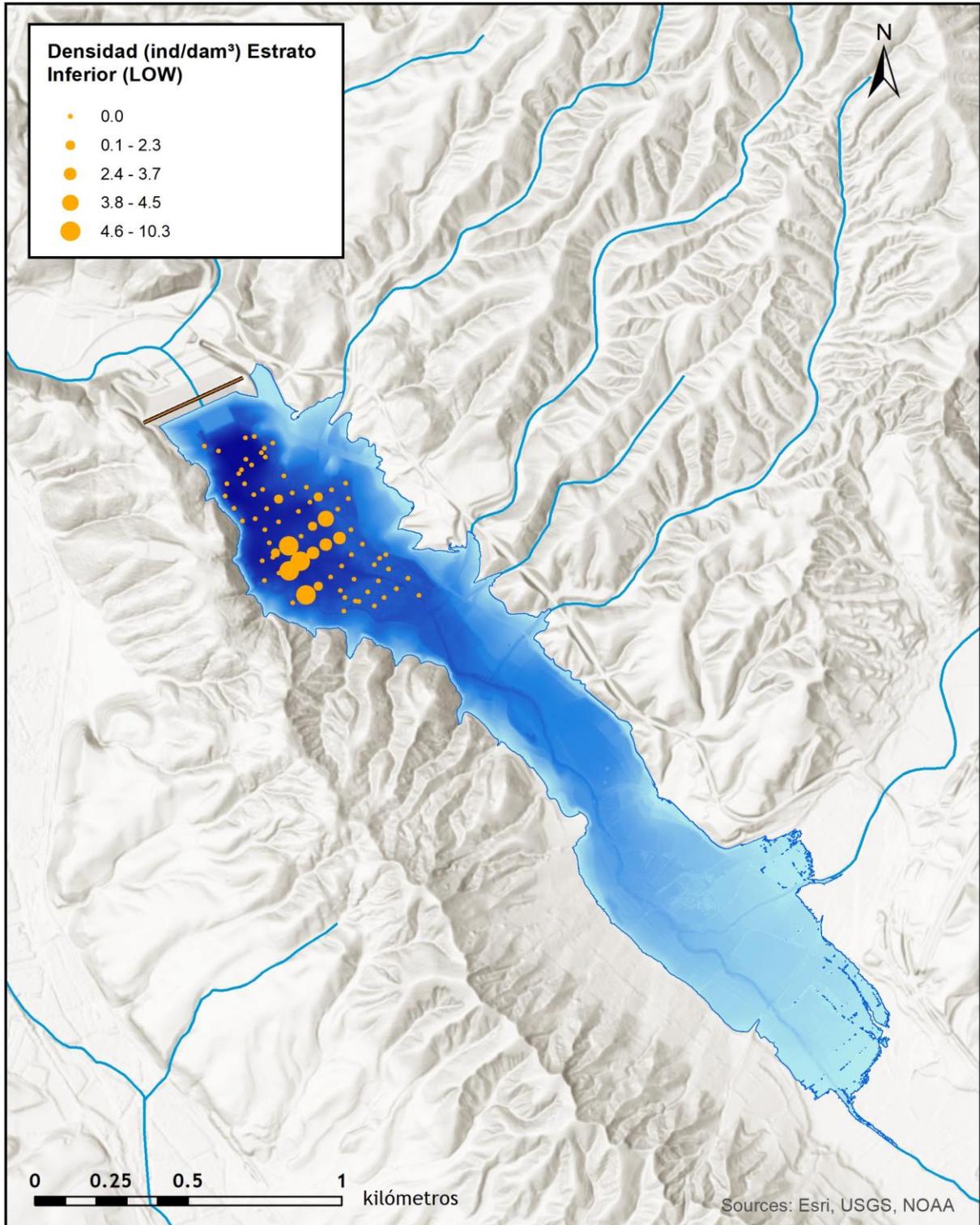


Figura 18. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la densidad de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud



4.1.1. 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 Lechago, 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 los embalses de Moneva, Maidevera y Ribarroja constituyen extremos, muy separados del resto por el lado superior de la distribución.

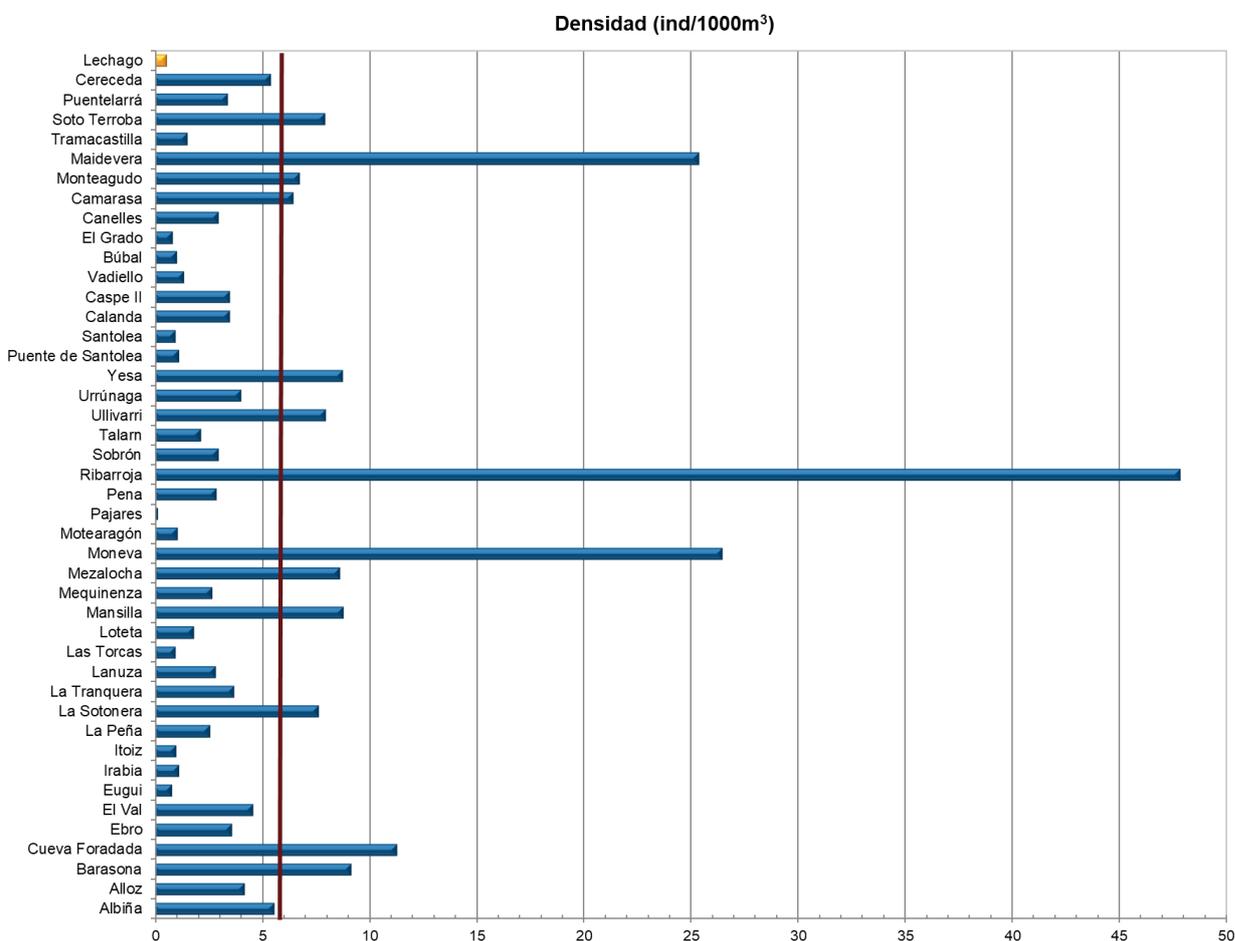


Figura 19. Comparación de la densidad con otros embalses de la cuenca del Ebro



El valor de densidad obtenido para el embalse de Lechago queda muy por debajo de los valores medios en el conjunto de embalses estudiados en la cuenca del Ebro, siendo uno de los embalses con la densidad más baja en el contexto de la demarcación hidrográfica.

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.

4.2.1. *Especies presentes en el embalse*

Se han detectado únicamente dos especies en los muestreos de diferente tipo realizados en el embalse de Lechago: una autóctona (barbo de Graells) y otra alóctona (carpa común y su variedad de “espejo”).

Tabla 6. Especies presentes en el embalse

Nombre común	Nombre científico	Autóctono/alóctono
<i>Cyprinus carpio</i>	Carpa común	Alóctono
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	Carpa de espejos	Alóctono
<i>Luciobarbus graellsii</i>	Barbo de Graells	Autóctono

Como podemos observar, se trata de una biocenosis altamente afectada en su composición por especies exóticas invasoras que representan más del 50% de la abundancia total del embalse.



4.2.2. Composición y distribución de especies

Capturas con redes

El total de capturas con redes agalleras fue de 79 peces, con un peso total de 31,6 kg, lo que supone 46 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 18 kg de biomasa por unidad de esfuerzo. Se emplearon un total de 3 redes en 15 horas de pesca (9,76 unidades de esfuerzo). En la Figura 13 se representa la ubicación de las redes de muestreo y los recorridos de pesca eléctrica.

En la Tabla 7 y en la Figura 20 se facilitan los resultados obtenidos de las redes para cada uno de los estratos del embalse y agregados por especies. Se capturaron con este tipo de método un total de 79 de los cuales, 38 pertenecen a la especie *Cyprinus carpio*.

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

Tabla 7. 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>Cyprinus carpio</i>	38	22	48	14.655	8 440	47	257	386
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	14	8	17	5 287	2 730	15	262	378
<i>Luciobarbus graellsii</i>	27	16	35	11.688	6 822	38	312	433
Total	79	46	100	31.629	17.991	100	277	400



Figura 20. Composición de la asociación obtenida mediante redes

Se observa que la asociación está claramente dominada por la carpa (*Cyprinus carpio*), tanto en términos de abundancia como de biomasa, que en su conjunto aporta el 65 y el 62% de la abundancia y biomasa totales. La variedad de “espejo” supone casi un tercio de los efectivos y biomasa de esta especie. El barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*) representa un 35% de la abundancia y un 38% de la biomasa.

En la Figura 21 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.

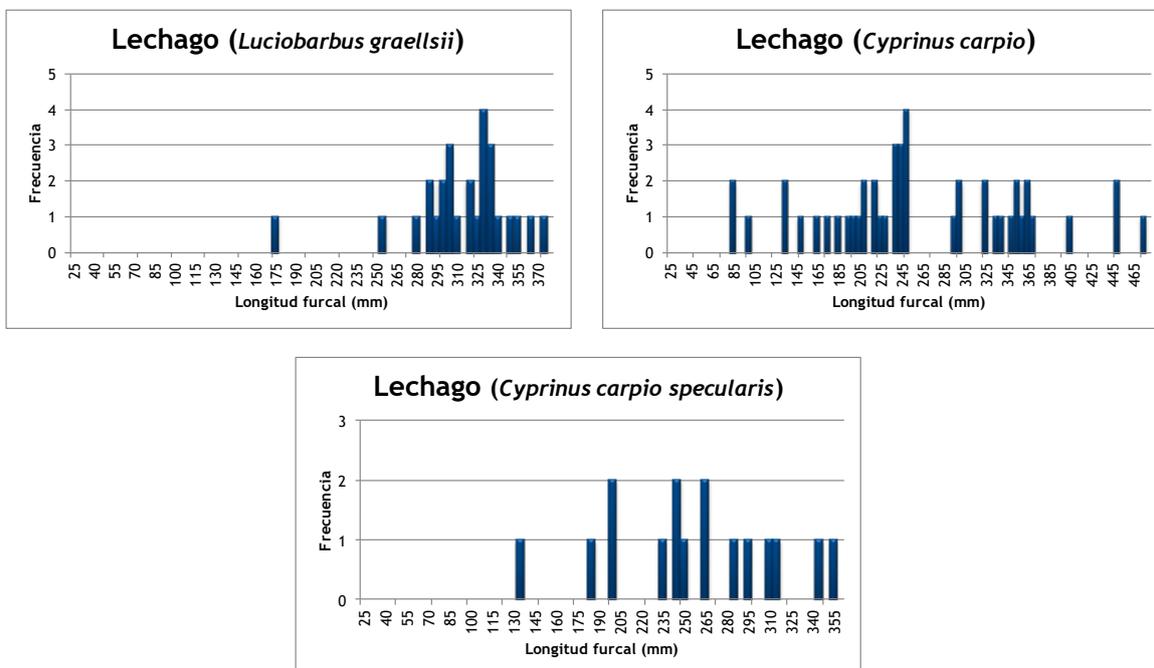


Figura 21. Histogramas de frecuencias de capturas en clases de longitud de 5 mm

De las especies capturadas en el embalse de Lechago, solamente el barbo de Graells es autóctona.

El barbo (*Luciobarbus graellsii*), presenta ejemplares mayoritariamente adultos, no se han capturado ni alevines, ni juveniles por lo que la población de barbo, se considera envejecida. Sin embargo, para la carpa y su variedad de espejos (*Cyprinus carpio*), sí se han capturado individuos de distintas clases de edad. Esto se debe a que el embalse proporciona hábitat para la reproducción de la carpa, mientras que el barbo tiene un carácter más reófilo y la reproducción y etapas tempranas del desarrollo transcurren en los ríos.

Resultados de la pesca eléctrica

El rendimiento de la pesca eléctrica fue superior al de las redes, en términos de capturas de ejemplares, con una captura total de 10 peces que sumaron 6,7 kg de peso fresco total, lo que supone 0,06 CPUE (ejemplares capturados por unidad de esfuerzo) y 41,5 g de BPUE. Se realizaron un total de cuatro transectos que cubrieron 630 m de orilla.

La ubicación de los transectos de muestreo de electropesca se puede observar en el mapa de la Figura 13, donde se presenta además la ubicación de las redes.

En la tabla siguiente se facilitan los resultados obtenidos, agregados por especies. Se capturó únicamente una de las dos especies detectadas en el embalse (carpa común), puesto que no se obtuvo ninguna captura de barbo de Graells.

Tabla 8. 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>Cyprinus carpio</i>	8	0,05	81	6.270	38,7	93,3	283	784
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	2	0,01	19	454	2,8	6,7	218	227
Total	10	0,06	100	6.724	41,5	100,0	270	672

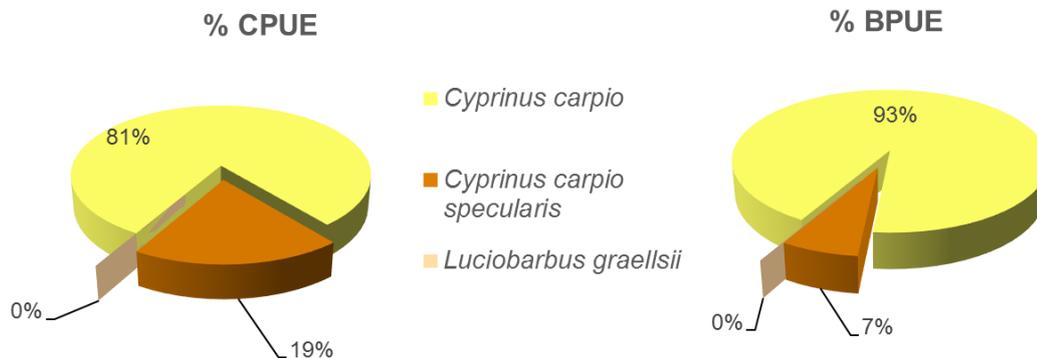


Figura 22. Composición de la asociación obtenida mediante pesca eléctrica

En este caso, la proporción de la variedad de “espejo” es inferior, tanto en número (19%) como en biomasa (7%), pues los ejemplares son de menor talla. Ya se ha visto en otras ocasiones que la distribución de estas dos variedades no es aleatoria y parece que la carpa de “espejo” prefiere aguas más alejadas de las estas zonas más someras y tendidas en las que se aplica la electropesca.

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 9 se presentan los resultados del análisis de biomasa por celdas.

Tabla 9. 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
LEC20	1	1	0,19	7,58	213	86	0,71
LEC20		2	1,74	63,19	207	159	6,65
LEC20		3	1,23	25,32	74	60	3,85

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 $1,18 \pm 0,45 \text{ g/m}^2$, o lo que es lo mismo $11,8 \text{ kg/ha}$. Se trata de un valor bajo de biomasa, que se explica al ser este embalse de reciente construcción.

La distribución espacial de la biomasa de peces en el estrato superior, obtenida por interpolación, se presenta en las láminas 4, 5 y 6 (ANEXO 4).

En los mapas de las figuras que se muestran a continuación 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. 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.

En general, los valores de biomasa de peces en el embalse de Lechago son bajos y los valores más altos se localizan en el estrato intermedio y en la zona de la cola del embalse.

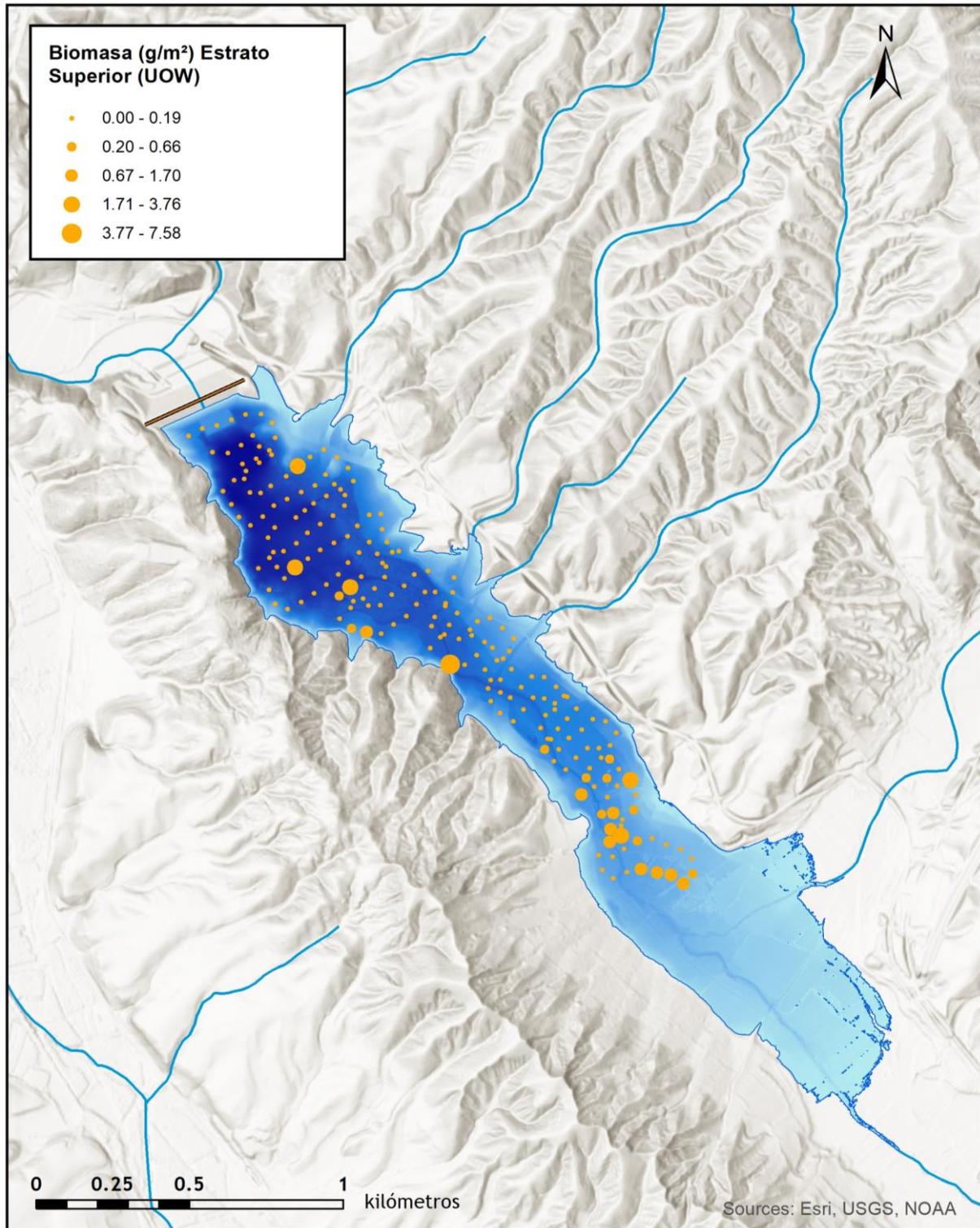


Figura 23. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato superior (UOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

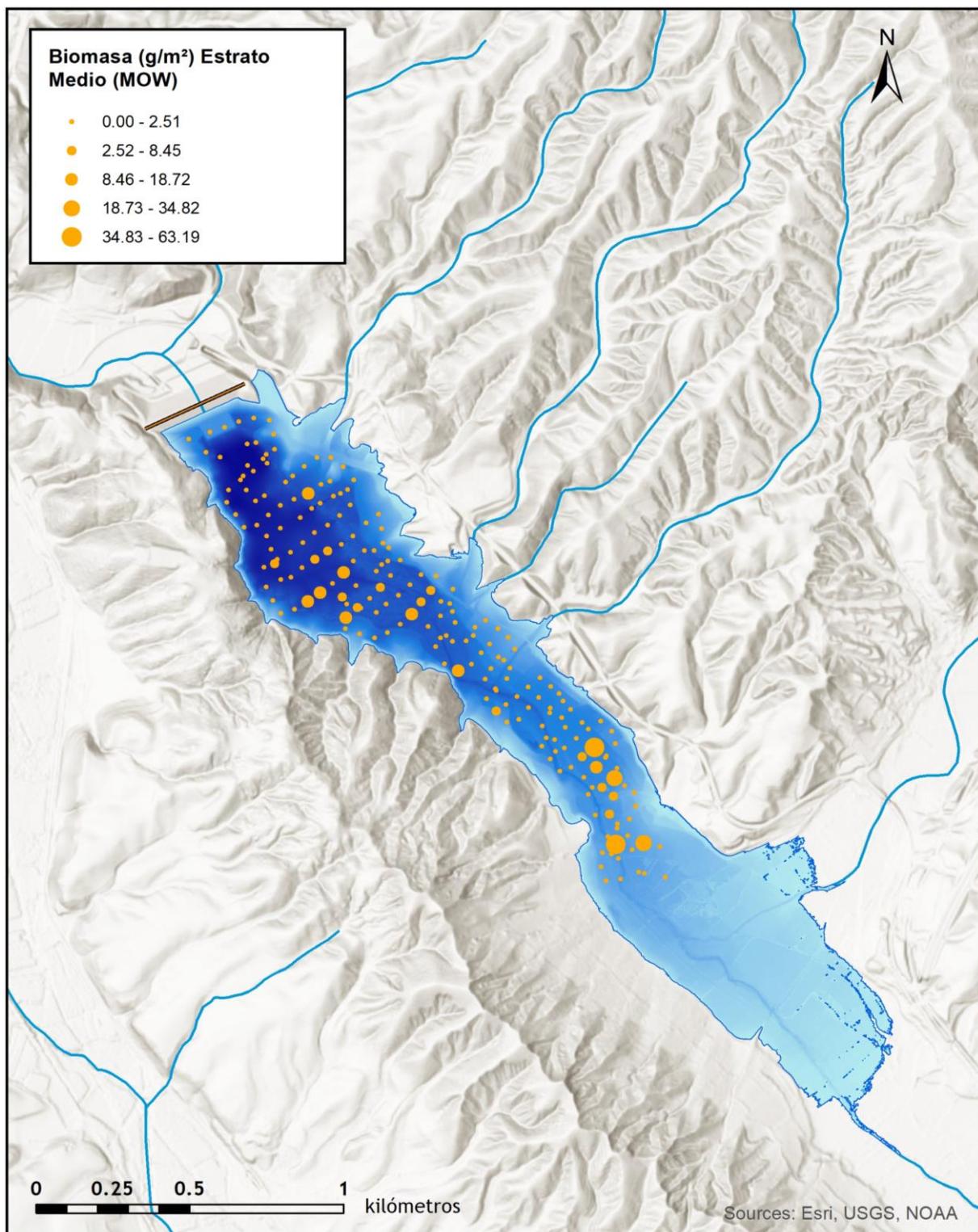


Figura 24. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (MOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud

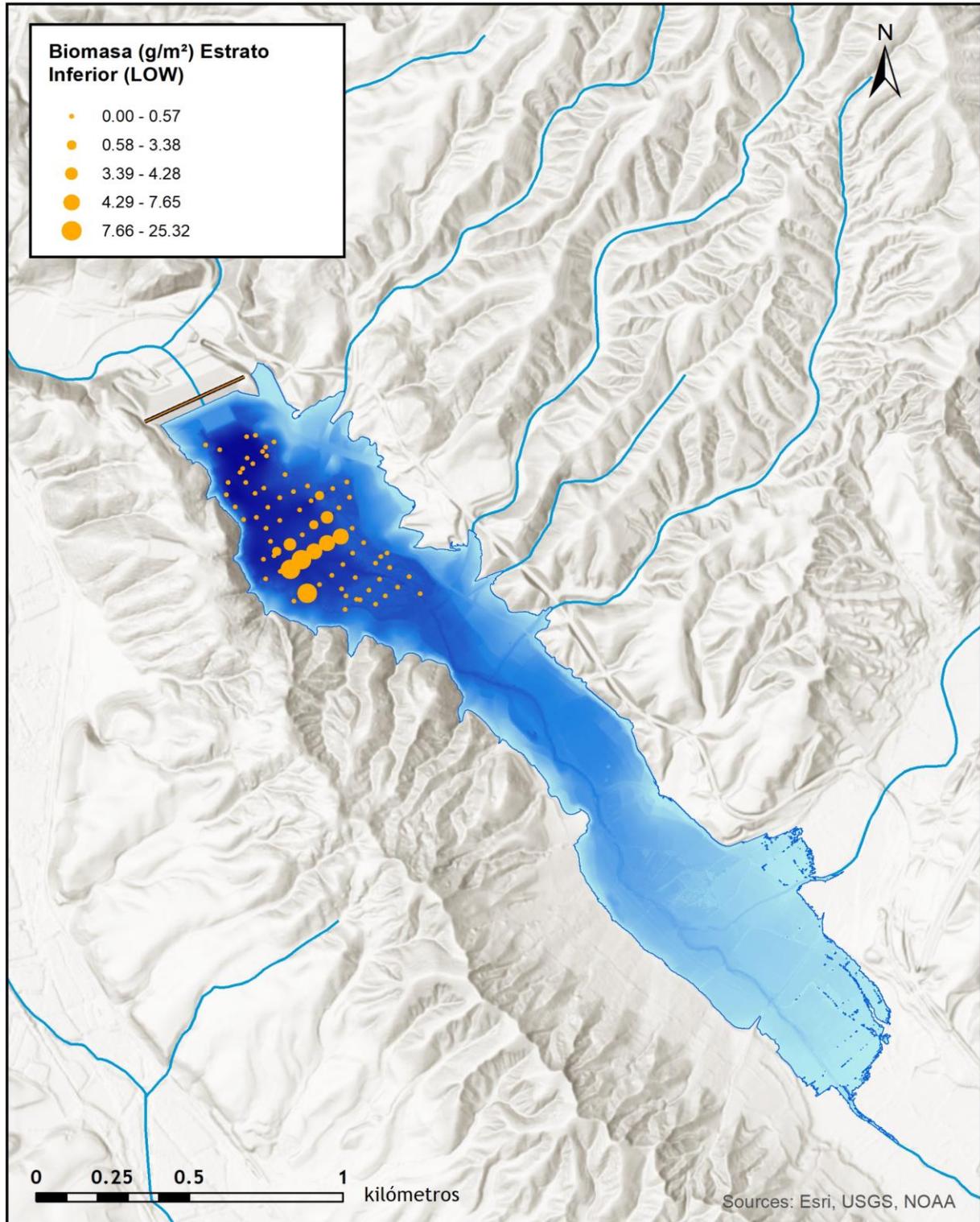


Figura 25. Celdas de análisis de hidroacústica y representación de la biomasa de peces en el estrato inferior (LOW). Cada punto representa una celda de 50 m de longitud



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 el embalse de Lechago, 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 de peces en el embalse de Lechago es baja en el contexto de los embalses estudiados en la cuenca del Ebro.

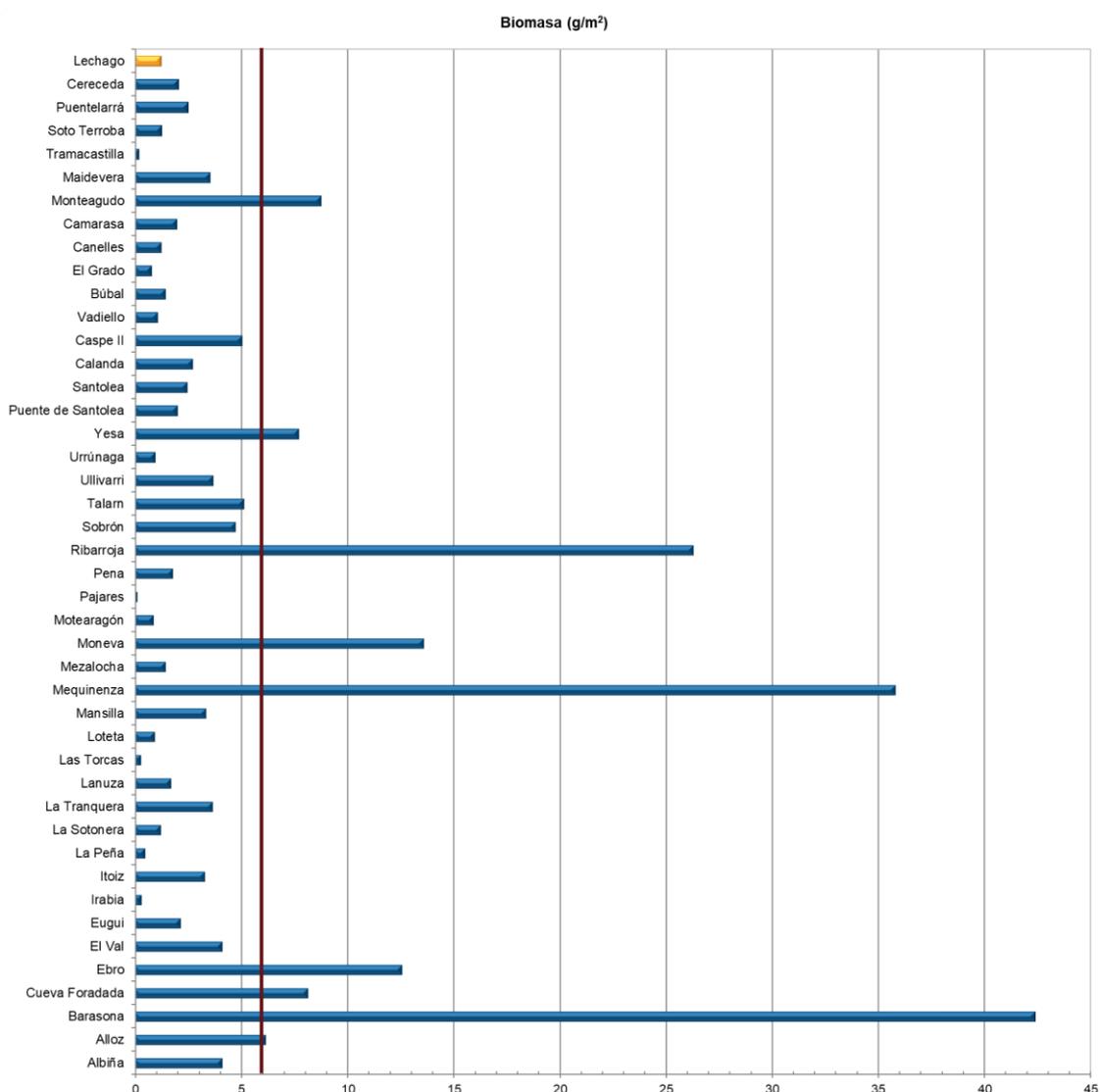


Figura 26. Comparación de la biomasa con otros embalses de la cuenca del Ebro



4.4. DENSIDAD Y BIOMASA POR ESPECIES

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

En la Tabla 10 se ha calculado la densidad y biomasa relativas por especie, referidas a volumen (dam^3) y superficie (m^2) respectivamente, para el conjunto del embalse.

Tabla 10. Densidades (ind/dam^3) y biomاسas (g/m^2) por especie

	Densidad media (ind/dam^3)	% Abundancia	Biomasa media (g/m^2)	% Biomasa	Abundancia Total (ind)	Peso total (kg)
<i>Luciobarbus graellsii</i>	0,14	34,94 %	0,45	37,83 %	1 503,43	563,87
<i>Cyprinus carpio</i>	0,20	47,92 %	0,55	47,02 %	2 061,93	700,81
<i>Cyprinus carpio specularis</i>	0,07	17,14 %	0,18	15,15 %	737,48	225,87
Total	0,41	100 %	1,18	100 %	4 303	1 491
Intervalo de Confianza (I.C)	0,16		0,45		1 623	562

En este cuadro se resumen las observaciones ya expuestas en cuanto a la densidad y biomasa de las especies, así como su importancia relativa en la asociación de peces del embalse. En términos absolutos se estima una población de unos $4\,303 \pm 1\,623$ peces con una biomasa de $1,49 \pm 0,56$ toneladas. Estos valores absolutos deben usarse con cautela. Es más apropiado trabajar con los valores de densidad y biomasa por unidad de volumen y superficie (respectivamente), que permiten comparar diferentes sistemas, además de ser las unidades de las métricas empleadas para la evaluación del potencial ecológico, que es una de las posibles aplicaciones de estos trabajos.



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 la extracción del ADN ambiental se llevó a cabo sin incidencias.

Todas las muestras ambientales del agua del embalse de Lechago pasaron los controles de calidad, amplificando con éxito el marcador 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.

Tras los análisis, ninguna muestra de ADN ambiental del agua del embalse de Lechago resultó positiva en ADN de trucha común.

Se obtuvieron dos rectas patrón con un alto grado de ajuste ($R^2_A=0,991$ y $R^2_B=0,990$). Ambas rectas patrón corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas independientemente para confirmar los resultados obtenidos en los análisis realizados.

Tabla 11. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de trucha común

	Recta patrón A	Recta patrón B
Pendiente	-3,525	-3,867
Intercepto	-1,339	-2,889
R ²	0,991	0,990

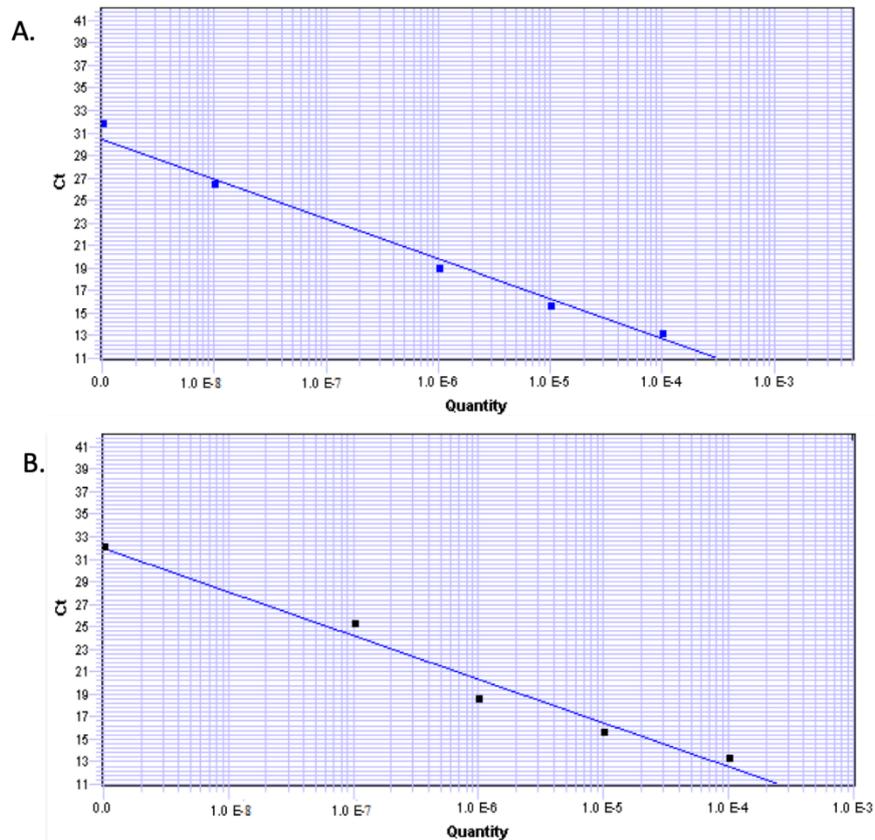


Figura 27. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (C_f) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas

La metodología empleada en estos análisis ha permitido optimizar la detección de trucha en muestras de agua con un límite de detección extremadamente sensible, correspondiente a una concentración mínima de ADN detectada de 0,05 fg/L o 99 moléculas de ADN de trucha común por litro analizado.

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 trucha común en el embalse de Lechago, confirmando en este caso los resultados obtenidos en los muestreos directos. Esto implica que, con alta probabilidad, la trucha común no habita esta masa de agua.



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 de Lechago.

Se obtuvieron dos rectas patrón con un alto grado de ajuste ($R^2=0,999$, en ambos casos), correspondientes a las réplicas de laboratorio independientes de los análisis realizados para confirmar los resultados obtenidos.

Tabla 12. Datos de las rectas patrón obtenidas para la cuantificación de muestras ambientales de anguila europea

	Recta patrón A	Recta patrón B
Pendiente	-3,600	-3,582
Intercepto	-7,999	-7,532
R^2	0,999	0,999

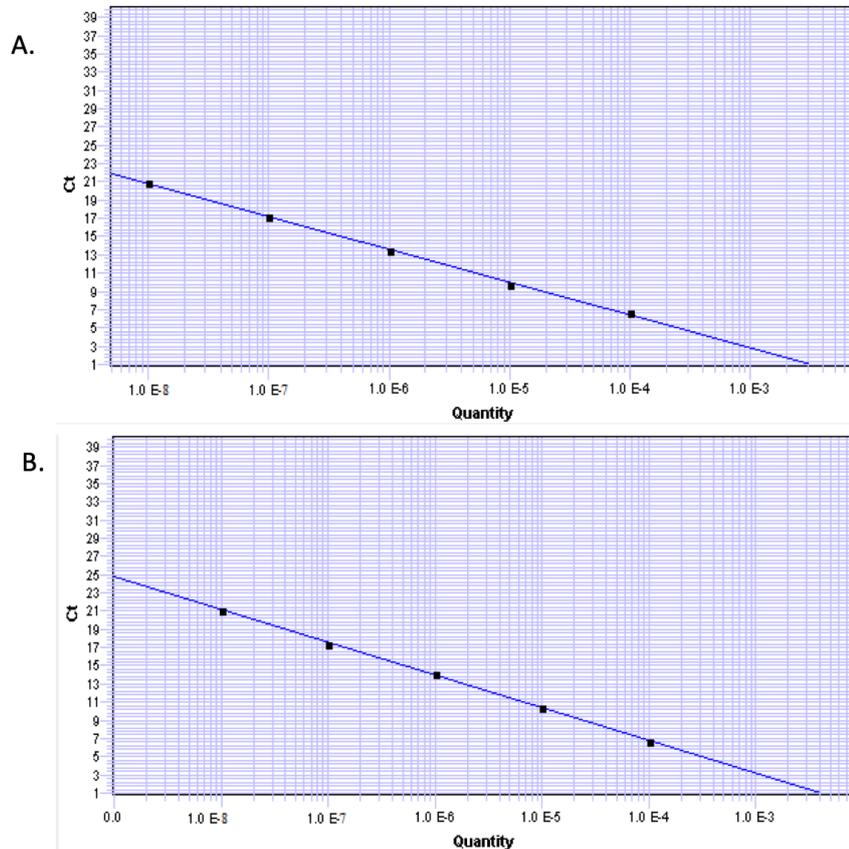


Figura 28. Rectas patrón para la cuantificación de las muestras ambientales, representadas por los ciclos de amplificación (C_f) frente a la cantidad de ADN detectada (Quantity). Cada una de las rectas (A y B) corresponden a las réplicas de laboratorio realizadas

La metodología empleada en estos análisis ha permitido optimizar la detección de anguila europea en muestras de agua con un límite de detección extremadamente sensible, correspondiente a una concentración mínima de ADN detectada de 10^{-2} fg/L o 50 moléculas de ADN de anguila europea por litro de muestra analizado.

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 Lechago, confirmando en este caso los resultados obtenidos en los muestreos directos. Esto implica que, con alta probabilidad, la anguila no habita esta masa de agua.



5. APROXIMACIÓN AL POTENCIAL ECOLÓGICO DEL EMBALSE BASADO EN PECES

Aunque este método de muestreo se ha aplicado en una reducida población de embalses de la Península Ibérica, los resultados ofrecen una buena idea del tipo de 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 biocenosis de peces que se ofrece más adelante de forma tentativa, se destacan las siguientes características, que podrían contribuir a una evaluación definitiva del potencial ecológico en el embalse de Lechago:

- Dominio en densidad y biomasa de las especies alóctonas, la carpa y su variedad la carpa de espejos. No obstante, estas especies no depredan sobre las especies autóctonas.
- En cuanto a las especies autóctonas, únicamente se ha registrado una especie, el barbo de Graells.



Como se ha apuntado en el apartado de metodología, se ha aplicado el QFBI (*Quantitative Fish Biotic Index*) en una versión todavía experimental, pero que de forma tentativa ofrece una primera idea del potencial ecológico basado en los peces.

El potencial ecológico del embalse es Bueno según esta metodología. En la Tabla 13 se presentan los resultados de las diferentes métricas, así como del QFBI, obtenidos para el embalse de Lechago:

Tabla 13. Resultados del QFBI obtenidos para el embalse de Lechago

Métrica	LEC20
LOG_BIO	4,07
LOG_BIO_native	3,65
LOG_%_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_PISC_Exotic	0,00
LOG_BIO_ciprin_native	3,65
QFBI	-1,04
Potencial	Bueno

Se considera que no existe una alteración profunda de la asociación de peces del embalse. Esto se debe a que los valores de densidad y biomasa son bajos, y además no se han registrado especies exóticas invasoras piscívoras por lo que no existe una depredación sobre la especie autóctona. No obstante, el llenado del embalse se ha producido en fechas recientes y su colonización por la biocenosis de peces podría estar en una etapa incipiente.



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.

Únicamente se ha detectado una especie autóctona en los muestreos realizados en el embalse de Lechago son: el barbo de Graells (*Luciobarbus graellsii*). Se han detectado en el embalse dos variedades de una especie alóctona: carpa común (*Cyprinus carpio*) y carpa de espejos (*Cyprinus carpio specularis*). En el caso de la trucha y anguila, la prospección mediante la técnica de mayor sensibilidad conocida (eDNA), ha ofrecido resultados negativos (ausencia) tanto en ambas especies.

La asociación de peces está dominada en densidad por la carpa (*Cyprinus carpio*), que aparece en sus dos variedades común y de espejos, representando el 65 % de la abundancia, y el barbo de Graells que aporta el 35 % restante. En términos de biomasa, estos porcentajes son del 62 y 38% respectivamente.

La densidad media de peces, a partir de la interpolación en celdas de 50 m, es de $0,41 \pm 0,16$ ind/dam³, que supone un valor bajo. La biomasa de peces obtenida en el embalse es de $1,18 \pm 0,45$ g/m², o lo que es lo mismo 11,8 kg/ha, que representa también un valor bajo de biomasa.

Aunque 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, que tiene un carácter experimental, con el que se obtendría en el embalse de Lechago un potencial ecológico “Bueno” según el indicador peces.

Por otro lado, se ha apreciado en este estudio la gran utilidad de la técnica genética de alta sensibilidad aplicada (eDNA), certificando la ausencia de trucha común y anguila, que validan los resultados obtenidos mediante muestreos directos. Asimismo, sería muy recomendable su uso recurrente en este embalse para la detección precoz de especies invasoras que puedan



suponer un riesgo futuro (siluro, mejillón cebra, etc) como una práctica preventiva para atajar el problema en las etapas iniciales de su gestación.

El ecosistema del embalse se encuentra en una etapa de colonización incipiente por los peces, debido al escaso tiempo transcurrido desde su llenado (2013), por lo que la evolución de la ictiocenosis puede reflejar cambios profundos en un periodo de escasos años, en el que habrá que estar especialmente vigilantes ante la potencial introducción de otras especies invasoras. Como se ha dicho, la técnica del eDNA permite incrementar la sensibilidad en una estrategia de detección temprana, especialmente recomendable en este tipo de embalses.



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.

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 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.



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

CHE. 2018. *Seguimiento de Embalses 2018.*

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



ANEXOS



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

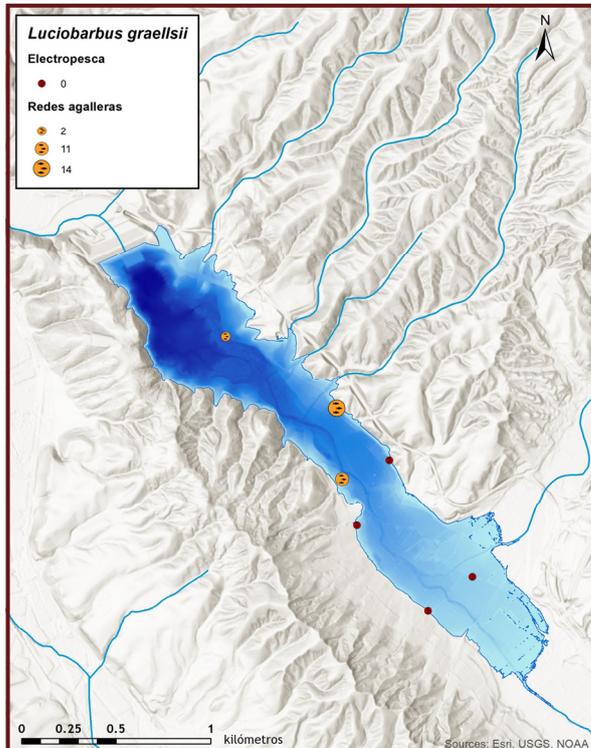


ANEXO 1. ESPECIES PRESENTES

Embalse de Lechago

Barbo de Graells

Luciobarbus graellsii



Ciprínido de gran tamaño, que puede alcanzar tallas máximas de hasta 800 mm de longitud total, aunque la mayoría no suele superar los 350 mm. El color del cuerpo es pardo verdoso y moteado en juveniles.

Barbus graellsii es una especie que puede colonizar todo tipo de medios, aunque prefiere los cursos medios y bajos de los ríos. Se la encuentra en los tramos altos únicamente en la época de reproducción, buscando zonas de arena y grava donde realizar la puesta. Como ocurre en otras especies del género *Barbus*, prefiere zonas tranquilas con vegetación y raíces de árboles donde encuentra refugios. Tiene hábitos gregarios, por lo que suele formar agrupaciones, incluso con otras especies de ciprínidos, de los géneros *Squalius* y *Parachondrostoma*.

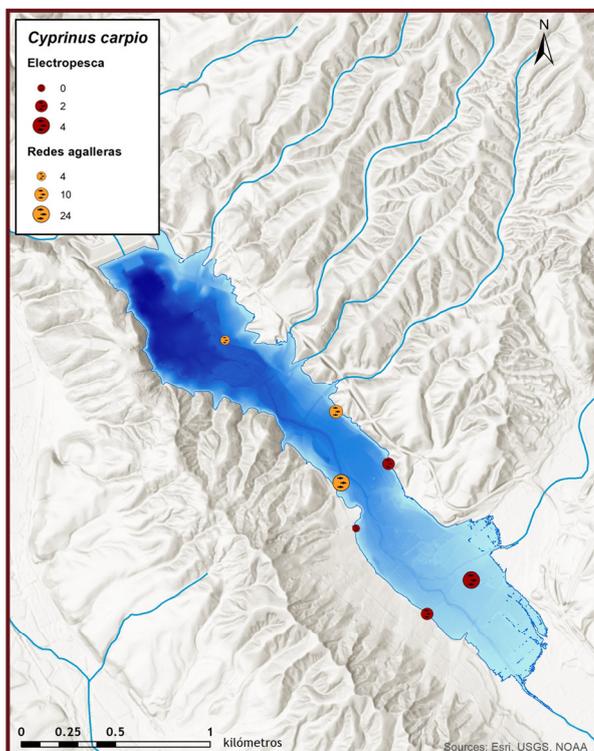
Presentan una alimentación variada, según la disponibilidad de recursos del medio. La época de reproducción dura desde mayo hasta agosto. La introducción de especies exóticas, la mayoría de ellas piscívoras, es la mayor de sus amenazas aunque también la construcción de infraestructuras hidráulicas se considera una amenaza importante. Se distribuye principalmente en la cuenca del Ebro pero llega hasta el río Asón en el Cantábrico y el río Ter en Cataluña.



Embalse de Lechago

Carpa común

Cyprinus carpio



Es la especie ictica introducida de mayor difusión en la península Ibérica. Puede alcanzar considerables dimensiones de hasta 1 m de longitud y más de 20 kg de peso.

Los machos alcanzan la madurez sexual a la edad de 1 o 2 años mientras que las hembras lo hacen más tarde. Aquellos individuos que habitan los embalses no necesitan salir de ellos para desovar sino que buscan zonas de aguas someras con vegetación dentro del mismo embalse.

Muestra costumbres gregarias, especialmente durante el invierno, que forma bancos en los fondos de las zonas más profundas. Su régimen alimentario es omnívoro, a base de detritos, materia vegetal y, preferentemente, de invertebrados acuáticos del fondo. Sin embargo su capacidad de adaptación es grande y puede variar ampliamente sus hábitos en función de las condiciones del medio.

Es una especie generalista que prefiere los cursos lentos de agua y los tramos de agua estancada con temperaturas altas. Resiste muy bien las bajas concentraciones de oxígeno disuelto, la turbiedad alta, la salinidad y, en general, la contaminación de las aguas.

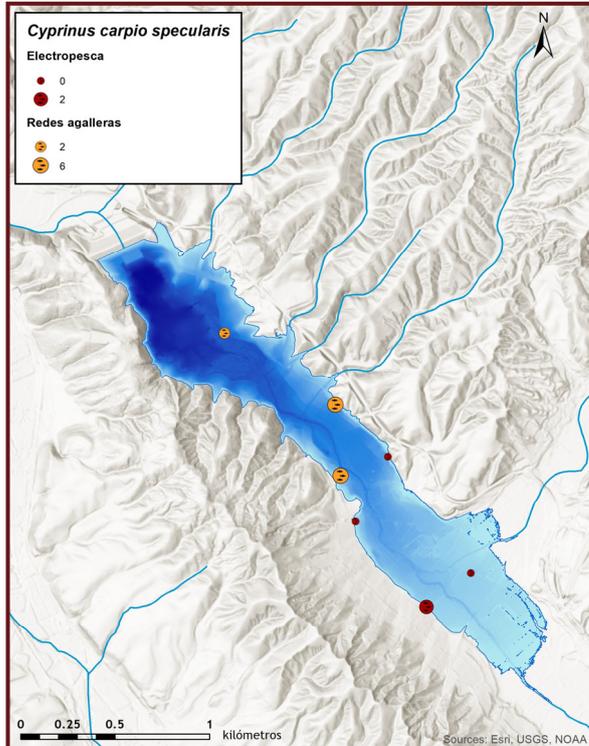
Se considera que tiene efectos negativos sobre la vegetación acuática sumergida, porque levantan sus raíces, y también contribuyen al enturbiamiento de las aguas por su costumbre de remover el sedimento.



Embalse de Lechago

Carpa de espejos

Cyprinus carpio specularis



Especie muy variable en forma, proporciones, escamas, color y desarrollo de las aletas. Son omnívoros, se alimentan básicamente de insectos acuáticos, crustáceos, anélidos, moluscos, arroz salvaje, algas y otros vegetales. Es una especie generalista que prefiere los cursos lentos de agua y los tramos de agua estancada con temperaturas altas. Resiste muy bien las bajas tensiones de oxígeno disuelto, la turbiedad alta, la salinidad y, en general, la contaminación de las aguas. Se reproduce en primavera y verano, dejando huevos pegajosos en vegetación poco profunda. Una hembra de 47 centímetros de longitud produce alrededor de 300.000 huevos. Aquellos individuos que habitan los embalses no necesitan salir de ellos para desovar sino que buscan zonas de aguas someras con vegetación dentro del mismo embalse. Los adultos pueden desenraizar y destruir la vegetación acuática sumergida en detrimento de las especies piscícolas autóctonas.





ANEXO 2. RESULTADOS DE LAS PESCAS



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago		CÓDIGO DE RED	LEC20RA01		
UTM-X	644135		UTM-Y	4535534		
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m		SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H30		
INICIO	4-11-20 19:00		FIN	5-11-20 9:15		
PROFUNDIDAD	12		PROFUNDIDAD DE LA RED	11		
RIQUEZA ESPECIES	3		ESFUERZO APLICADO	1.6		
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	10	6.32	33%	1532	967.39	16%
Carpa de espejos	6	3.79	20%	1934	1,221.22	21%
Barbo de Graells	14	8.84	47%	5961	3,764.84	63%
Total	30	18.95	100%	9426	5,953.45	100%

CPUE

Legend:
■ Carpa común
■ Carpa de espejos
■ Barbo de Graells

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	373	630.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	290	329.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	276	320.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	290	352.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	364	620.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	294	355.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	305	398.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	305	396.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	296	380.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	303	373.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	281	445.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	315	565.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	261	316.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	291	449.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	183	112.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	135	46.6	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	210	178.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	220	201.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	243	263.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	197	144.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	201	157.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	132	42.5	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	148	62.2	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	135	241.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	181	106.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	194	137.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	316	455.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	310	411.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	333	461.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	326	481.0	1



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago		CÓDIGO DE RED	LEC20RA02		
UTM-X	644162		UTM-Y	4535156		
TIPO DE RED	Bentónica (16x1.5) 40m		SISTEMA DE REFERENCIA	UTM ETRS89 H30		
INICIO	4-11-20 19:10		FIN	5-11-20 9:35		
PROFUNDIDAD	6		PROFUNDIDAD DE LA RED	5		
RIQUEZA ESPECIES	3		ESFUERZO APLICADO	1.6		
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	24	14.98	59%	11587	7,233.50	63%
Carpa de espejos	6	3.75	15%	2106	1,314.73	11%
Barbo de Graells	11	6.87	27%	4622	2,885.10	25%
Total	41	25.60	100%	18315	11,433.33	100%

CPUE

BPUE

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA					
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	328	470.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	330	492.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	336	515.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	333	510.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	325	510.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	332	532.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	254	218.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	325	671.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	366	887.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	209	180.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	357	810.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	362	872.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	355	782.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	248	281.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	334	644.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	365	888.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	340	662.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	300	502.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	243	280.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	346	724.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	352	858.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	245	289.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	238	271.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	292	470.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	239	247.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	236	245.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	247	297.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	247	283.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	175	113.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	223	229.0	1	
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	165	102.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	265	348.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	248	284.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	351	751.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	245	298.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	242	263.0	1	
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	200	162.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	296	377.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	330	527.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	316	388.0	1	
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	175	82.5	1	



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago		CÓDIGO DE RED		LEC20RA03	
UTM-X	643548		UTM-Y		4535918	
TIPO DE RED	Pelágica (16x6) 40m		SISTEMA DE REFERENCIA		UTM ETRS89 H30	
INICIO	4-11-20 19:25		FIN		5-11-20 9:53	
PROFUNDIDAD	20		PROFUNDIDAD DE LA RED		14	
RIQUEZA ESPECIES	3		ESFUERZO APLICADO		6.4	
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	4	0.62	50%	1536	238.89	40%
Carpa de espejos	2	0.31	25%	1247	193.95	32%
Barbo de Graells	2	0.31	25%	1105	171.86	28%
Total	8	1.24	100%	3888	604.70	100%

CPUE		BPUE	
<ul style="list-style-type: none"> ■ Carpa común ■ Carpa de espejos ■ Barbo de Graells 			

RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA				
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	226	196.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	325	619.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	249	276.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	345	685.0	1
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	310	562.0	1
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	296	445.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	353	552.0	1
Barbo de Graells	<i>Luciobarbus graellsii</i>	347	553.0	1



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago	CÓDIGO	LEC20PE01			
UMT-X	644,853	UMT-Y	4,534,635			
RIQUEZA ESPECIES	1	Distancia (m)	162.1			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	4	0.02	100%	6030	37.21	100%
Carpa de espejos		0.00	0%		0.00	0%
Barbo de Graells		0.00	0%		0.00	0%
Total	4	0.02	100%	6030	37.21	100%
CPUE			BPUE			
<ul style="list-style-type: none">■ Carpa común■ Carpa de espejos■ Barbo de Graells 						
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	473	1800.0	1		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	405	1230.0	1		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	450	1500.0	1		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	450	1500.0	1		



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago	CÓDIGO	LEC20PE02			
UMT-X	644,618	UMT-Y	4,534,456			
RIQUEZA ESPECIES	2	Distancia (m)	163.5			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	2	0.01	50%	224	1.37	33%
Carpa de espejos	2	0.01	50%	454	2.78	67%
Barbo de Graells		0.00	0%		0.00	0%
Total	4	0.02	100%	678	4.15	100%
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"><div style="text-align: center;"><h3>CPUE</h3><ul style="list-style-type: none">■ Carpa común■ Carpa de espejos■ Barbo de Graells</div><div style="text-align: center;"><h3>BPUE</h3></div></div>						
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	98	19.0	1		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	220	205.0	1		
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	235	254.0	1		
Carpa de espejos	<i>Cyprinus carpio specularis</i>	200	200.0	1		



FICHA DE PESCA						
DATOS DE LA RED						
SISTEMA	Lechago	CÓDIGO	LEC20PE04			
UMT-X	644,414	UMT-Y	4,535,257			
RIQUEZA ESPECIES	1	Distancia (m)	142.7			
RESUMEN DE LAS PESCAS						
ESPECIE	CAPTURAS	CPUE	% CPUE	BIOMASA (g)	BPUE	% BPUE
Carpa común	2	0.01	100%	16	0.11	100%
Carpa de espejos		0.00	0%		0.00	0%
Barbo de Graells		0.00	0%		0.00	0%
Total	2	0.01	100%	16	0.11	100%
CPUE			BPUE			
<ul style="list-style-type: none">■ Carpa común■ Carpa de espejos■ Barbo de Graells 						
RESULTADOS DETALLADOS DE LA PESCA						
NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO	L. furcal (mm)	Peso (g)	Numero Ind		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	85	9.0	1		
Carpa común	<i>Cyprinus carpio</i>	81	7.0	1		



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



ANEXO 3. CELDAS DEL MUESTREO HIDROACÚSTICO



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	1	642965.53	4536281.53	0.01	0.02
1	2	643008.99	4536305.69	0.01	0.01
1	3	643057.78	4536315.96	0.00	0.00
1	4	643103.90	4536334.65	0.00	0.00
1	5	643151.00	4536352.09	0.00	0.00
1	6	643201.24	4536353.91	0.00	0.00
1	7	643237.09	4536324.96	0.00	0.01
1	8	643246.75	4536276.00	0.01	0.02
1	9	643227.75	4536233.26	0.00	0.00
1	10	643184.97	4536206.16	0.00	0.00
1	11	643140.85	4536189.62	0.00	0.00
1	12	643146.78	4536140.60	0.00	0.01
1	13	643165.19	4536096.05	0.00	0.00
1	14	643199.80	4536094.18	0.00	0.00
1	15	643233.05	4536117.71	0.00	0.00
1	16	643283.85	4536148.35	0.00	0.00
1	17	643320.43	4536182.54	0.97	2.14
1	18	643361.05	4536211.72	0.00	0.00
1	19	643404.99	4536236.72	0.00	0.00
1	20	643448.27	4536210.45	0.00	0.00
1	21	643485.23	4536176.86	0.00	0.01
1	22	643502.05	4536133.12	0.00	0.00
1	23	643459.52	4536106.02	0.00	0.00
1	24	643414.86	4536083.55	0.00	0.00
1	25	643372.35	4536059.84	0.00	0.00
1	26	643343.60	4536036.83	0.00	0.00
1	27	643314.85	4536013.81	0.00	0.00
1	28	643245.05	4535981.10	0.00	0.00
1	29	643223.41	4535947.22	0.00	0.00
1	30	643242.04	4535900.55	0.00	0.00
1	31	643252.17	4535851.60	0.01	0.01
1	32	643276.90	4535813.96	0.00	0.00
1	33	643311.90	4535849.38	1.04	2.31
1	34	643353.06	4535877.72	0.01	0.02
1	35	643394.21	4535906.48	0.00	0.00
1	36	643438.40	4535929.79	0.00	0.00
1	37	643483.01	4535952.28	0.00	0.00
1	38	643515.07	4535985.94	0.00	0.00
1	39	643554.34	4536022.30	0.01	0.02
1	40	643590.66	4536024.70	0.03	0.06
1	41	643594.92	4535974.80	0.02	0.05
1	42	643611.48	4535933.60	0.01	0.03
1	43	643650.91	4535903.01	0.01	0.02
1	44	643628.31	4535899.61	0.05	0.12
1	45	643596.98	4535863.83	0.00	0.00



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	46	643528.06	4535818.85	0.00	0.00
1	47	643491.63	4535784.68	0.97	2.15
1	48	643456.02	4535756.02	0.11	0.24
1	49	643501.44	4535738.26	0.06	0.13
1	50	643550.24	4535724.81	0.00	0.00
1	51	643590.37	4535725.59	0.00	0.00
1	52	643626.63	4535759.77	0.04	0.08
1	53	643667.40	4535788.54	0.03	0.06
1	54	643699.97	4535826.45	0.00	0.00
1	55	643744.94	4535837.49	0.02	0.05
1	56	643830.77	4535816.29	0.00	0.01
1	57	643825.31	4535767.05	0.00	0.01
1	58	643801.08	4535722.94	0.00	0.00
1	59	643766.66	4535686.25	0.02	0.05
1	60	643757.15	4535656.41	0.01	0.03
1	61	643799.13	4535629.70	0.00	0.00
1	62	643846.59	4535615.37	0.00	0.01
1	63	643881.67	4535644.44	0.01	0.03
1	64	643887.34	4535625.92	0.02	0.04
1	65	643906.62	4535672.47	0.01	0.03
1	66	643947.56	4535683.43	0.00	0.00
1	67	643986.61	4535650.31	0.01	0.03
1	68	644024.10	4535616.73	0.01	0.01
1	69	644010.70	4535574.10	0.01	0.02
1	70	643970.35	4535544.08	0.00	0.00
1	71	643930.62	4535514.49	0.00	0.00
1	72	643950.30	4535479.28	0.03	0.07
1	73	643981.56	4535439.65	0.01	0.03
1	74	644012.86	4535422.47	0.00	0.00
1	75	644048.99	4535456.23	0.00	0.00
1	76	644083.90	4535491.23	0.00	0.00
1	77	644124.31	4535489.90	0.03	0.06
1	78	644163.20	4535458.04	0.01	0.03
1	79	644189.03	4535427.62	0.00	0.00
1	80	644228.93	4535385.61	0.00	0.00
1	81	644198.45	4535424.42	0.00	0.00
1	82	644158.74	4535403.31	0.00	0.00
1	83	644128.48	4535364.58	0.07	0.15
1	84	644112.91	4535323.18	0.00	0.01
1	85	644145.06	4535285.26	0.00	0.00
1	86	644170.87	4535251.45	0.01	0.01
1	87	644204.74	4535288.97	0.00	0.01
1	88	644246.23	4535316.90	0.09	0.19
1	89	644282.52	4535351.08	0.00	0.00
1	90	644324.60	4535344.28	0.00	0.00



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	91	644358.82	4535306.82	0.01	0.02
1	92	644338.79	4535264.90	0.00	0.00
1	93	644309.46	4535224.08	0.00	0.00
1	94	644272.15	4535189.89	0.01	0.03
1	95	644260.24	4535158.30	0.20	0.44
1	96	644330.38	4535095.29	0.01	0.03
1	97	644361.42	4535132.74	0.00	0.00
1	98	644404.49	4535151.39	1.55	3.43
1	99	644421.82	4535103.86	0.01	0.01
1	100	644416.63	4535053.77	0.30	0.66
1	101	644378.47	4535021.24	0.04	0.08
1	102	644340.07	4534989.56	0.68	1.51
1	103	644337.16	4534947.56	0.37	0.81
1	104	644347.12	4534899.46	0.08	0.17
1	105	644384.91	4534925.19	0.00	0.00
1	106	644428.09	4534950.62	0.18	0.39
1	107	644475.90	4534959.18	0.05	0.11
1	108	644521.69	4534940.17	0.01	0.03
1	109	644569.12	4534924.16	0.09	0.19
1	110	644605.33	4534893.52	0.03	0.07
1	111	644607.96	4534843.57	0.27	0.60
1	112	644578.09	4534810.79	0.51	1.13
1	113	644537.57	4534839.66	0.45	0.99
1	114	644491.47	4534847.21	0.77	1.70
1	115	644439.88	4534859.34	0.42	0.93
1	116	644393.80	4534849.12	0.00	0.00
1	117	644347.91	4534828.72	0.00	0.00
1	118	644312.77	4534856.42	0.00	0.00
1	119	644301.10	4534905.34	0.00	0.00
1	120	644331.88	4534942.38	0.05	0.12
1	121	644374.50	4534968.62	1.69	3.76
1	122	644375.02	4535000.84	0.02	0.05
1	123	644348.71	4535043.10	0.59	1.31
1	124	644310.72	4535039.39	0.15	0.34
1	125	644244.61	4535103.77	0.69	1.52
1	126	644287.04	4535129.60	0.07	0.16
1	127	644328.14	4535157.51	0.15	0.33
1	128	644367.89	4535186.68	0.00	0.00
1	129	644337.22	4535220.39	0.13	0.30
1	130	644302.28	4535256.15	0.02	0.05
1	131	644265.31	4535256.27	0.05	0.11
1	132	644227.23	4535224.17	0.07	0.15
1	133	644194.55	4535185.82	0.01	0.03
1	134	644155.37	4535212.60	0.01	0.02
1	135	644125.56	4535252.68	0.24	0.52



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	136	644135.03	4535287.18	0.01	0.03
1	137	644168.91	4535320.04	0.05	0.10
1	138	644198.23	4535353.24	0.00	0.00
1	139	644158.05	4535382.52	0.00	0.00
1	140	644123.71	4535419.13	0.00	0.00
1	141	644087.94	4535421.40	0.01	0.02
1	142	644056.28	4535382.65	0.00	0.00
1	143	644022.64	4535344.71	0.01	0.02
1	144	643979.87	4535371.41	0.03	0.06
1	145	643949.68	4535411.07	0.00	0.00
1	146	643941.19	4535452.42	0.00	0.01
1	147	643981.20	4535481.17	0.00	0.01
1	148	644017.73	4535515.35	0.00	0.00
1	149	643990.70	4535550.41	0.00	0.00
1	150	643955.19	4535586.14	0.00	0.00
1	151	643929.90	4535605.14	0.00	0.01
1	152	643903.86	4535562.27	0.00	0.00
1	153	643865.43	4535529.31	0.01	0.02
1	154	643817.78	4535531.34	3.42	7.58
1	155	643752.00	4535584.29	0.00	0.00
1	156	643786.18	4535620.55	0.01	0.02
1	157	643814.98	4535661.36	0.00	0.00
1	158	643840.46	4535700.41	0.00	0.00
1	159	643802.60	4535731.86	0.00	0.00
1	160	643768.87	4535769.33	0.01	0.02
1	161	643735.65	4535769.10	0.01	0.03
1	162	643707.21	4535727.88	0.01	0.02
1	163	643675.00	4535689.12	0.03	0.06
1	164	643632.61	4535662.45	0.02	0.04
1	165	643593.23	4535631.61	0.02	0.05
1	166	643544.89	4535637.86	0.40	0.90
1	167	643496.09	4535649.62	0.11	0.24
1	168	643457.69	4535681.49	0.00	0.00
1	169	643493.14	4535717.34	0.00	0.01
1	170	643533.44	4535747.78	0.02	0.05
1	171	643570.76	4535779.86	0.00	0.01
1	172	643604.08	4535817.37	0.01	0.02
1	173	643608.11	4535853.03	0.03	0.06
1	174	643579.16	4535894.84	0.01	0.03
1	175	643553.76	4535933.75	0.00	0.01
1	176	643521.38	4535898.37	0.01	0.03
1	177	643484.55	4535865.03	0.04	0.09
1	178	643452.50	4535826.70	0.08	0.18
1	179	643414.40	4535793.76	0.00	0.01
1	180	643373.68	4535764.16	0.00	0.00



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
1	181	643332.48	4535735.82	0.02	0.05
1	182	643287.94	4535713.34	0.00	0.00
1	183	643247.07	4535730.34	0.00	0.00
1	184	643227.15	4535776.13	0.00	0.00
1	185	643192.50	4535847.05	0.00	0.00
1	186	643228.82	4535881.23	0.00	0.00
1	187	643274.38	4535902.87	0.00	0.00
1	188	643316.14	4535929.11	0.01	0.03
1	189	643352.45	4535963.71	0.01	0.02
1	190	643394.37	4535991.64	0.00	0.01
1	191	643436.21	4536018.72	0.01	0.02
1	192	643473.16	4536052.49	0.00	0.00
1	193	643474.85	4536086.41	0.01	0.02
1	194	643440.24	4536122.59	0.01	0.02
1	195	643411.09	4536154.22	0.01	0.02
1	196	643376.21	4536118.80	0.01	0.03
1	197	643331.62	4536096.75	0.00	0.00
1	198	643286.59	4536074.70	0.01	0.02
1	199	643243.27	4536051.82	0.01	0.02
1	200	643206.94	4536016.79	0.00	0.00
1	201	643166.92	4535987.21	0.00	0.00
1	202	643129.04	4536014.43	0.01	0.01
1	203	643104.08	4536056.74	0.01	0.02
1	204	643077.31	4536099.85	0.00	0.00
1	205	643113.25	4536135.71	0.00	0.00
1	206	643152.56	4536166.55	0.03	0.07
1	207	643195.16	4536193.22	0.00	0.00
1	208	643235.02	4536219.00	0.00	0.01
1	209	643195.90	4536247.05	0.00	0.01
1	210	643173.70	4536283.47	0.01	0.01
1	211	643136.43	4536250.55	0.01	0.01
1	212	643093.07	4536225.13	0.01	0.03
1	213	643042.86	4536227.96	0.00	0.00
2	1	642964.99	4536283.86	0.00	0.00
2	2	643034.13	4536307.42	0.00	0.00
2	3	643081.19	4536322.98	0.00	0.00
2	4	643127.79	4536342.36	1.14	0.02
2	5	643176.35	4536353.36	0.00	0.00
2	6	643226.94	4536346.55	0.00	0.00
2	7	643240.91	4536300.33	0.00	0.00
2	8	643244.00	4536251.30	0.00	0.00
2	9	643206.34	4536219.82	0.00	0.00
2	10	643156.85	4536198.35	0.00	0.00
2	11	643141.62	4536163.65	0.00	0.00
2	12	643151.64	4536117.49	0.00	0.00



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	13	643181.68	4536080.86	0.00	0.00
2	14	643211.52	4536099.32	0.00	0.00
2	15	643280.15	4536143.42	0.00	0.00
2	16	643303.18	4536163.29	0.00	0.00
2	17	643340.99	4536195.54	0.00	0.00
2	18	643382.62	4536223.55	0.00	0.00
2	19	643426.61	4536223.32	0.00	0.00
2	20	643467.28	4536194.19	0.00	0.00
2	21	643502.06	4536150.68	0.00	0.00
2	22	643481.35	4536118.80	0.00	0.00
2	23	643436.33	4536096.92	0.00	0.00
2	24	643392.82	4536073.84	0.00	0.00
2	25	643365.81	4536056.97	0.00	0.00
2	26	643327.48	4536026.28	0.00	0.00
2	27	643262.66	4535991.57	0.00	0.00
2	28	643218.01	4535966.32	0.00	0.00
2	29	643232.43	4535923.55	0.00	0.00
2	30	643244.69	4535875.35	1.55	6.80
2	31	643264.99	4535823.05	0.00	0.00
2	32	643297.59	4535830.84	0.00	0.00
2	33	643333.14	4535862.47	0.77	1.00
2	34	643375.12	4535889.47	0.78	5.70
2	35	643416.74	4535916.98	1.55	3.43
2	36	643462.24	4535938.19	0.00	0.00
2	37	643499.46	4535965.53	0.00	0.00
2	38	643542.41	4536008.97	0.00	0.00
2	39	643583.12	4536038.85	0.00	0.00
2	40	643593.12	4535990.12	0.00	0.00
2	41	643596.77	4535943.15	0.00	0.00
2	42	643616.05	4535927.07	0.00	0.00
2	43	643652.89	4535887.08	0.00	0.00
2	44	643612.49	4535884.07	0.00	0.00
2	45	643575.66	4535850.39	0.78	0.91
2	46	643508.85	4535802.89	0.00	0.00
2	47	643465.20	4535766.51	1.55	3.25
2	48	643478.73	4535742.75	0.00	0.00
2	49	643525.40	4535729.57	0.00	0.00
2	50	643575.82	4535715.18	0.00	0.00
2	51	643607.15	4535743.51	0.00	0.00
2	52	643647.96	4535772.48	0.78	1.26
2	53	643684.68	4535806.05	0.00	0.00
2	54	643720.54	4535838.95	0.00	0.00
2	55	643769.62	4535835.60	0.00	0.00
2	56	643823.98	4535791.96	0.00	0.00
2	57	643813.98	4535744.87	0.00	0.00



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	58	643783.67	4535704.52	0.00	0.00
2	59	643743.74	4535669.75	0.00	0.00
2	60	643784.59	4535631.91	0.00	0.00
2	61	643822.95	4535620.14	0.00	0.00
2	62	643867.64	4535622.41	0.00	0.00
2	63	643895.75	4535666.28	0.00	0.00
2	64	643890.29	4535639.34	0.00	0.00
2	65	643931.04	4535690.36	0.00	0.00
2	66	643971.00	4535662.27	0.00	0.00
2	67	644005.00	4535633.02	0.00	0.00
2	68	644026.10	4535594.84	0.00	0.00
2	69	643990.29	4535559.07	0.00	0.00
2	70	643948.79	4535531.52	0.00	0.00
2	71	643930.22	4535497.37	0.00	0.00
2	72	643965.76	4535458.89	0.00	0.00
2	73	643996.79	4535413.52	1.66	0.21
2	74	644033.48	4535439.29	0.00	0.00
2	75	644069.16	4535471.23	0.00	0.00
2	76	644108.37	4535500.79	0.00	0.00
2	77	644143.10	4535472.82	0.00	0.00
2	78	644170.16	4535448.92	0.00	0.00
2	79	644207.85	4535397.66	0.00	0.00
2	80	644244.90	4535353.70	0.00	0.00
2	81	644183.13	4535424.50	0.00	0.00
2	82	644140.36	4535386.12	0.00	0.00
2	83	644114.68	4535342.74	0.00	0.00
2	84	644128.58	4535303.64	0.00	0.00
2	85	644158.74	4535258.65	0.00	0.00
2	86	644187.86	4535270.25	0.00	0.00
2	87	644226.08	4535302.25	0.00	0.00
2	88	644265.71	4535332.13	0.00	0.00
2	89	644304.67	4535358.70	0.00	0.00
2	90	644341.15	4535325.11	0.00	0.00
2	91	644353.05	4535285.51	4.19	0.02
2	92	644323.7875	4535245.197	2.533	1.171
2	93	644290.9087	4535207.025	2.394	11.37
2	94	644250.9462	4535174.123	3.354	0.699
2	95	644278.7049	4535140.695	10.055	0.096
2	96	644347.8032	4535112.487	6.597	7.726
2	97	644383.7842	4535147.477	0	0
2	98	644414.6825	4535123.995	0	0
2	99	644418.9186	4535079.777	0	0
2	100	644398.8865	4535036.971	0	0
2	101	644358.4697	4535007.024	6.143	0.382
2	102	644328.3407	4534980.568	0	0



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	103	644339.774	4534921.831	0	0
2	104	644363.2324	4534907.654	0	0
2	105	644407.0979	4534936.946	0	0
2	106	644445.4709	4534957.779	15.357	34.824
2	107	644498.1044	4534946.174	0	0
2	113	644515.8881	4534845.86	0	0
2	114	644447.5175	4534859.144	0	0
2	115	644429.6704	4534863.258	0	0
2	116	644370.6794	4534840.543	0	0
2	117	644323.1894	4534834.158	0	0
2	118	644306.6529	4534880.911	0	0
2	119	644311.4066	4534926.583	0	0
2	120	644353.9384	4534953.905	4.809	46.458
2	121	644392.5676	4534982.705	0	0
2	122	644359.6458	4535021.318	5.498	0.01
2	123	644334.2938	4535053.494	8.623	8.454
2	124	644287.6249	4535049.958	0	0
2	125	644264.7285	4535117.498	0	0
2	126	644308.9959	4535141.278	3.057	4.203
2	127	644349.547	4535171.638	3.177	23.94
2	128	644358.5324	4535204.154	0	0
2	129	644320.5686	4535239.326	0	0
2	130	644285.6095	4535271.99	4.491	63.189
2	131	644244.4092	4535242.551	13.349	7.506
2	132	644208.9447	4535207.406	2.362	0.244
2	133	644172.633	4535193.989	0	0
2	134	644141.7355	4535234.241	0	0
2	135	644114.5255	4535276.243	0	0
2	136	644155.0963	4535298.295	0	0
2	137	644190.0646	4535337.696	0	0
2	138	644179.0778	4535369.443	0	0
2	139	644141.5705	4535402.458	0	0
2	140	644104.0859	4535436.907	0	0
2	141	644071.0778	4535403.176	0	0
2	142	644038.8267	4535364.74	0	0
2	143	644000.413	4535355.503	0	0
2	144	643965.4925	4535392.323	3.934	2.722
2	145	643933.5983	4535431.547	0	0
2	146	643963.1133	4535464.398	0	0
2	147	643999.6061	4535498.608	0	0
2	148	644010.7826	4535533.221	0	0
2	149	643972.4283	4535568.298	0	0
2	150	643943.4183	4535611.609	0	0
2	151	643917.2066	4535583.798	0	0
2	152	643884.668	4535546.29	0	0



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	153	643841.7655	4535524.682	1.042	18.721
2	154	643797.7554	4535546.789	0	0
2	155	643768.384	4535602.61	0	0
2	156	643802.6497	4535639.207	1.857	2.092
2	157	643831.2826	4535682.702	1.189	2.513
2	158	643822.8782	4535718.11	0	0
2	159	643786.1674	4535751.897	0	0
2	160	643752.1799	4535787.649	1.715	5.986
2	161	643720.1709	4535749.763	0.897	4.021
2	162	643690.6114	4535709.293	2.414	11.608
2	163	643653.5387	4535676.74	0.832	2.116
2	164	643611.4493	4535649.286	0	0
2	165	643568.9654	4535631.675	0	0
2	166	643520.48	4535645.477	0	0
2	167	643474.0275	4535662.973	1.955	0.08
2	168	643475.8762	4535698.104	3.092	16.575
2	169	643514.1347	4535731.612	1.546	2.983
2	170	643554.3117	4535761.283	0	0
2	171	643588.3718	4535797.642	2.32	4.344
2	172	643621.6725	4535836.23	1.554	2.329
2	173	643591.9636	4535873.243	0.78	0.694
2	174	643567.7256	4535918.958	1.125	0.941
2	175	643536.2605	4535918.744	0	0
2	176	643500.5041	4535883.907	0	0
2	177	643468.7144	4535845.96	4.636	12.308
2	178	643432.847	4535811.165	0.775	1.426
2	179	643393.0509	4535780.526	2.325	10.153
2	180	643351.8984	4535752.07	3.106	12.284
2	181	643309.3255	4535725.641	0	0
2	182	643264.1592	4535712.178	0	0
2	183	643238.9869	4535754.512	0	0
2	184	643216.674	4535798.744	0.793	0.24
2	185	643209.3431	4535864.348	0	0
2	186	643252.2157	4535890.06	0	0
2	187	643296.7163	4535913.005	0	0
2	188	643335.7907	4535944.375	0	0
2	189	643373.6718	4535977.342	0	0
2	190	643416.6069	4536002.812	0	0
2	191	643456.0145	4536033.878	0	0
2	192	643490.8709	4536067.786	0	0
2	193	643458.0882	4536105.795	0	0
2	194	643423.8649	4536146.03	0	0
2	195	643395.1533	4536135.908	0	0
2	196	643354.2963	4536105.792	0.848	10.85
2	197	643308.2687	4536087.403	0	0



Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
2	198	643262.8359	4536066.56	0.778	0.712
2	199	643224.1471	4536035.732	0	0
2	200	643187.0697	4536001.681	0.776	1.501
2	201	643144.7323	4535994.338	0	0
2	202	643117.3004	4536036.494	0	0
2	203	643089.3972	4536077.365	0	0
2	204	643094.9412	4536117.787	0	0
2	205	643133.6208	4536149.958	0	0
2	206	643174.5103	4536179.296	0	0
2	207	643220.0589	4536204.971	0	0
2	208	643217.3396	4536233.504	0	0
2	209	643183.607	4536272.85	0	0
2	210	643154.7198	4536267.868	0	0
2	212	643067.833	4536225.974	0	0
2	213	643021.0217	4536241.821	0	0
3	8	643243.9989	4536251.304	0	0
3	9	643206.3424	4536219.819	0	0
3	10	643156.8478	4536198.354	0	0
3	11	643141.6211	4536163.652	0	0
3	12	643151.637	4536117.491	0	0
3	13	643181.6804	4536080.861	0	0
3	14	643211.5181	4536099.322	0	0
3	15	643280.1536	4536143.417	0	0
3	22	643481.3473	4536118.798	0	0
3	23	643436.3311	4536096.919	0	0
3	24	643392.8197	4536073.836	1.159	3.38
3	25	643365.8135	4536056.973	0	0
3	26	643327.4842	4536026.284	0	0
3	27	643262.6555	4535991.57	0	0
3	28	643218.0065	4535966.323	0	0
3	29	643232.4275	4535923.547	0	0
3	30	643244.6896	4535875.354	0	0
3	31	643264.9876	4535823.052	0	0
3	32	643297.5936	4535830.84	7.389	13.755
3	33	643333.1442	4535862.473	8.132	13.216
3	34	643375.1159	4535889.468	3.359	6.587
3	35	643416.7405	4535916.978	3.699	6.164
3	36	643462.2424	4535938.189	3.133	7.646
3	37	643499.4584	4535965.525	0	0
3	44	643612.4876	4535884.072	0	0
3	45	643575.6564	4535850.391	0	0
3	46	643508.8541	4535802.886	0	0
3	47	643465.2049	4535766.507	0	0
3	48	643478.7346	4535742.749	0	0
3	49	643525.3971	4535729.567	0	0



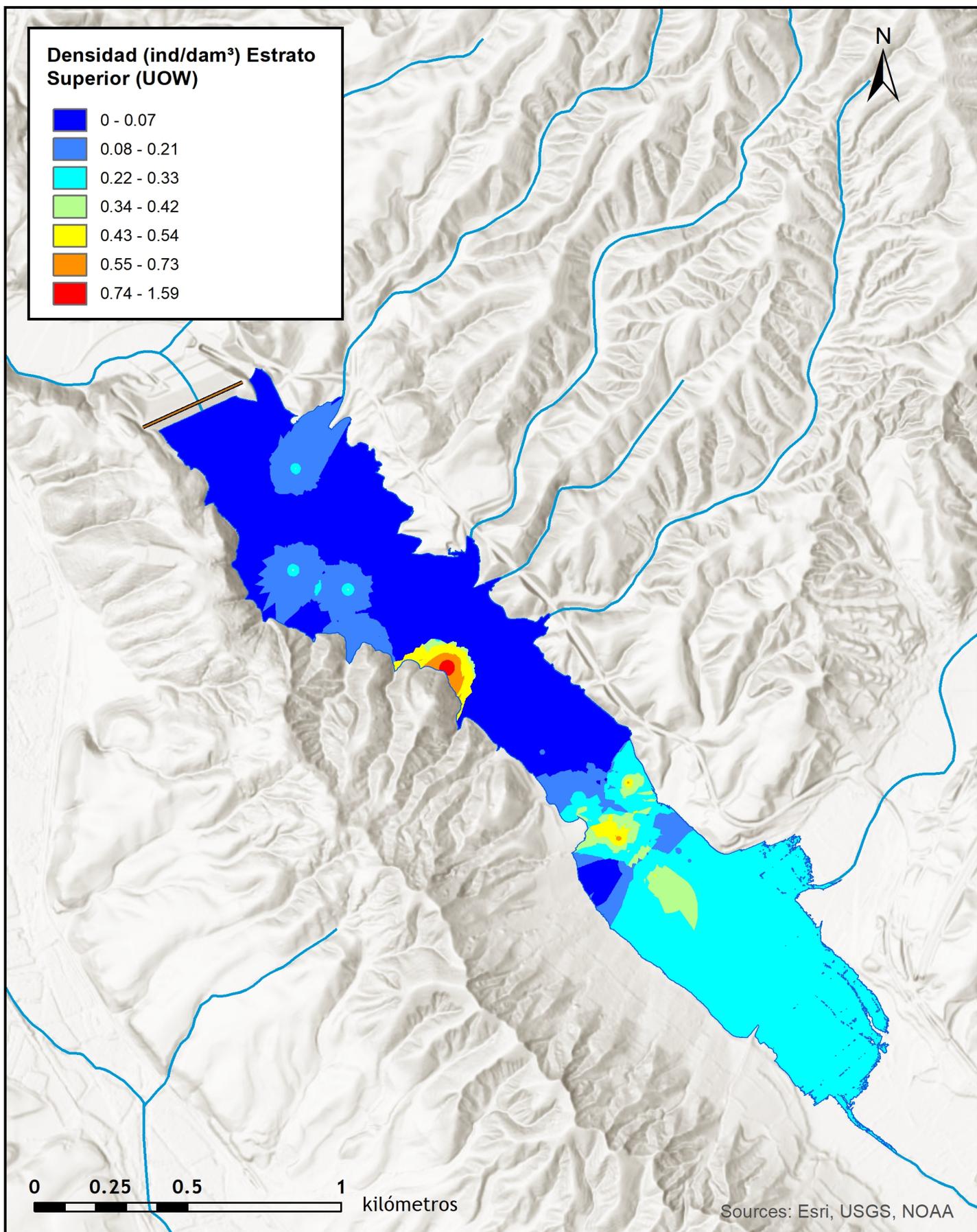
Estrato	Segmento	X ETRS89 H30	Y ETRS89 H30	Densidad (ind/dm ³)	Biomasa (g/m ²)
3	50	643575.8214	4535715.181	0	0
3	51	643607.1507	4535743.512	0	0
3	52	643647.9554	4535772.485	0	0
3	53	643684.6795	4535806.053	0	0
3	161	643720.1709	4535749.763	0	0
3	168	643475.8762	4535698.104	0	0
3	169	643514.1347	4535731.612	0	0
3	170	643554.3117	4535761.283	0	0
3	171	643588.3718	4535797.642	0	0
3	172	643621.6725	4535836.23	0	0
3	173	643591.9636	4535873.243	0	0
3	175	643536.2605	4535918.744	0	0.112
3	176	643500.5041	4535883.907	0	0
3	177	643468.7144	4535845.96	0	0
3	178	643432.847	4535811.165	0	0
3	179	643393.0509	4535780.526	2.28	0.57
3	180	643351.8984	4535752.07	10.314	25.319
3	181	643309.3255	4535725.641	0	0
3	184	643216.674	4535798.744	0	0
3	185	643209.3431	4535864.348	0	0
3	186	643252.2157	4535890.06	1.231	3.103
3	187	643296.7163	4535913.005	7.884	4.283
3	188	643335.7907	4535944.375	0	0
3	189	643373.6718	4535977.342	1.968	2.947
3	190	643416.6069	4536002.812	4.467	3.846
3	191	643456.0145	4536033.878	0	0
3	192	643490.8709	4536067.786	0	0
3	196	643354.2963	4536105.792	0	0
3	197	643308.2687	4536087.403	0	0
3	198	643262.8359	4536066.56	1.532	0.112
3	199	643224.1471	4536035.732	0	0
3	200	643187.0697	4536001.681	0	0
3	201	643144.7323	4535994.338	0	0
3	202	643117.3004	4536036.494	0	0
3	203	643089.3972	4536077.365	0	0
3	204	643094.9412	4536117.787	0	0
3	205	643133.6208	4536149.958	0	0
3	206	643174.5103	4536179.296	0	0
3	207	643220.0589	4536204.971	0	0
3	208	643217.3396	4536233.504	0	0
3	209	643183.607	4536272.85	0	0
3	210	643154.7198	4536267.868	0	0
3	212	643067.833	4536225.974	0	0
3	213	643021.0217	4536241.821	0	0



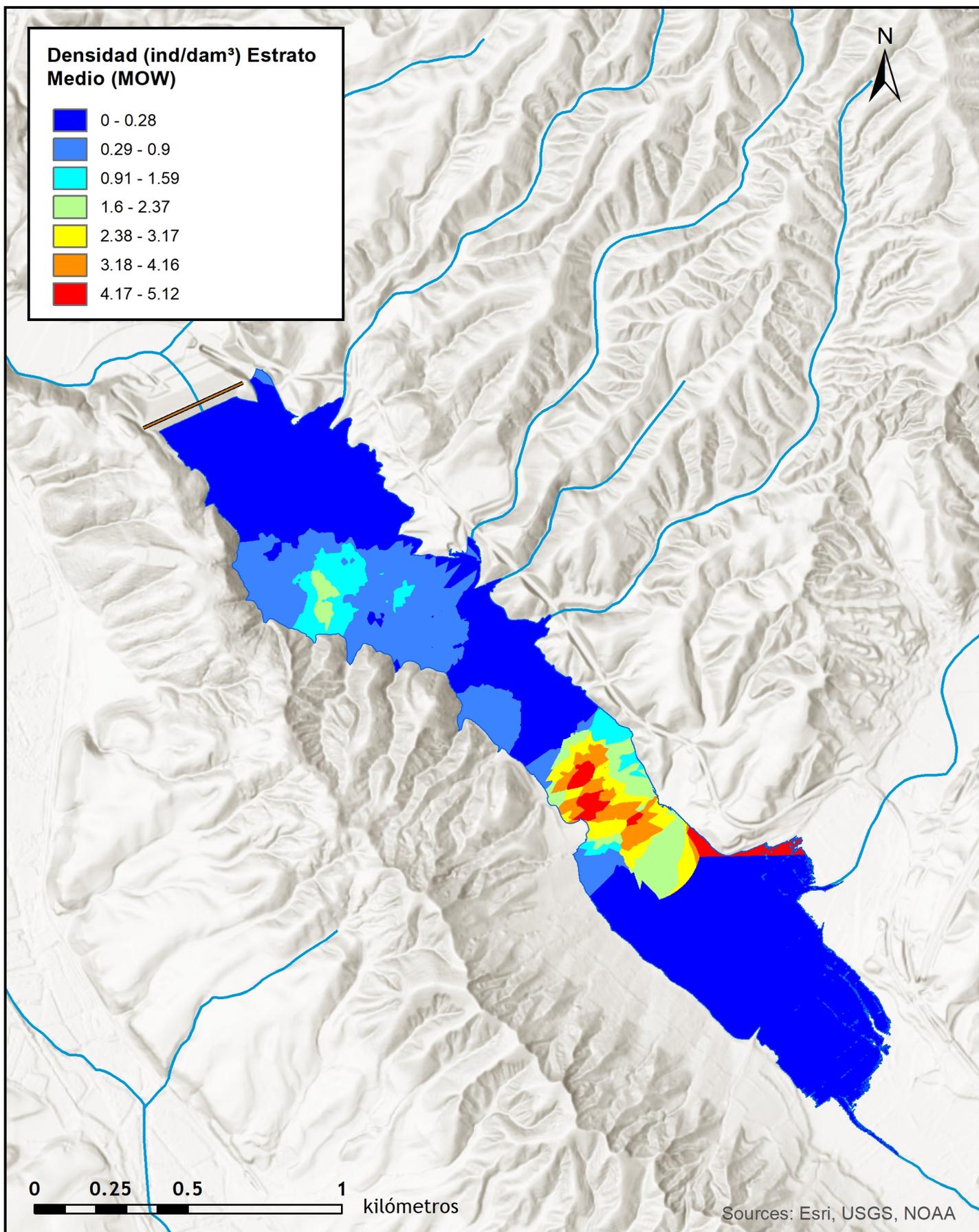
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



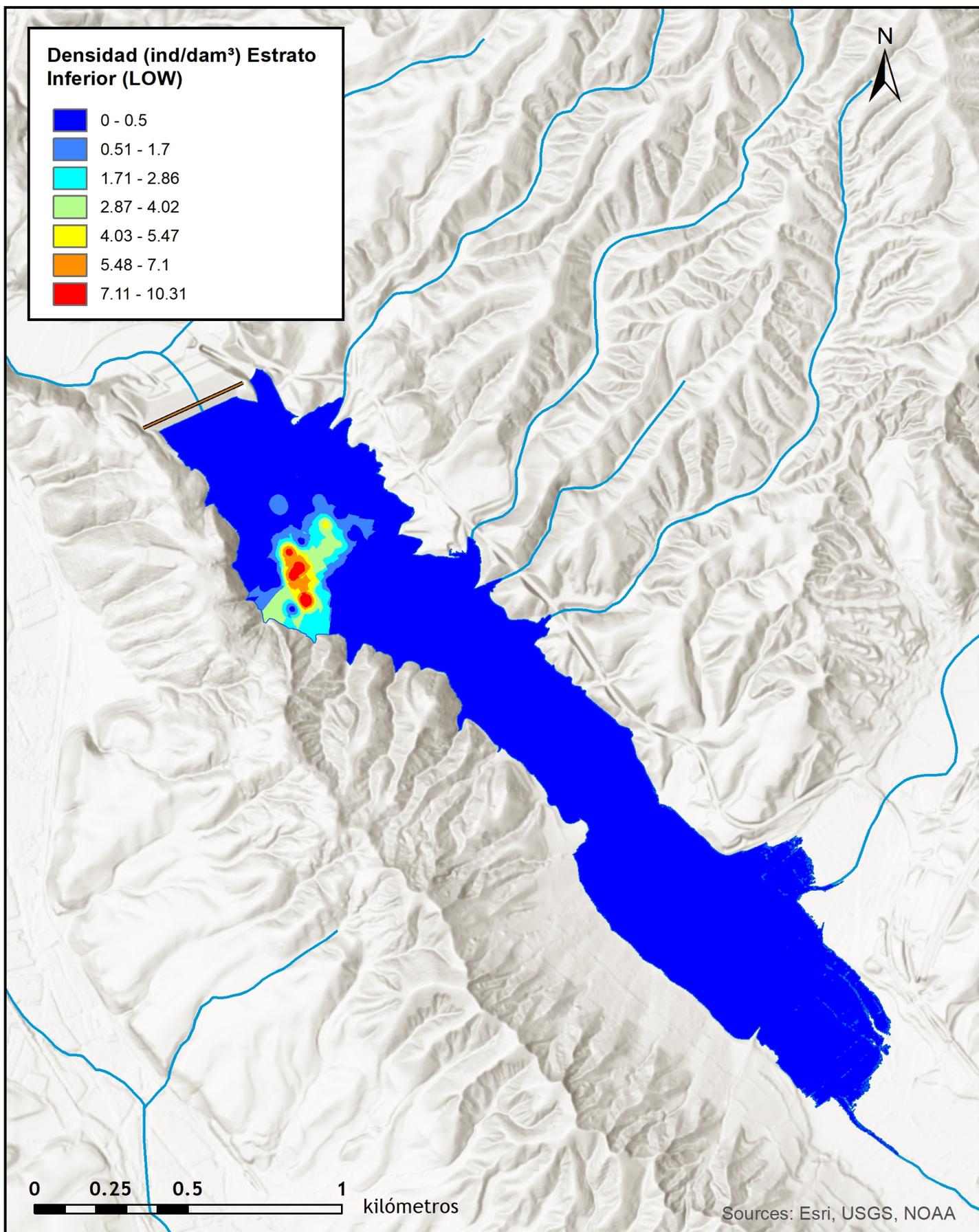
ANEXO 4. MAPAS INTERPOLADOS DE DENSIDAD Y BIOMASA



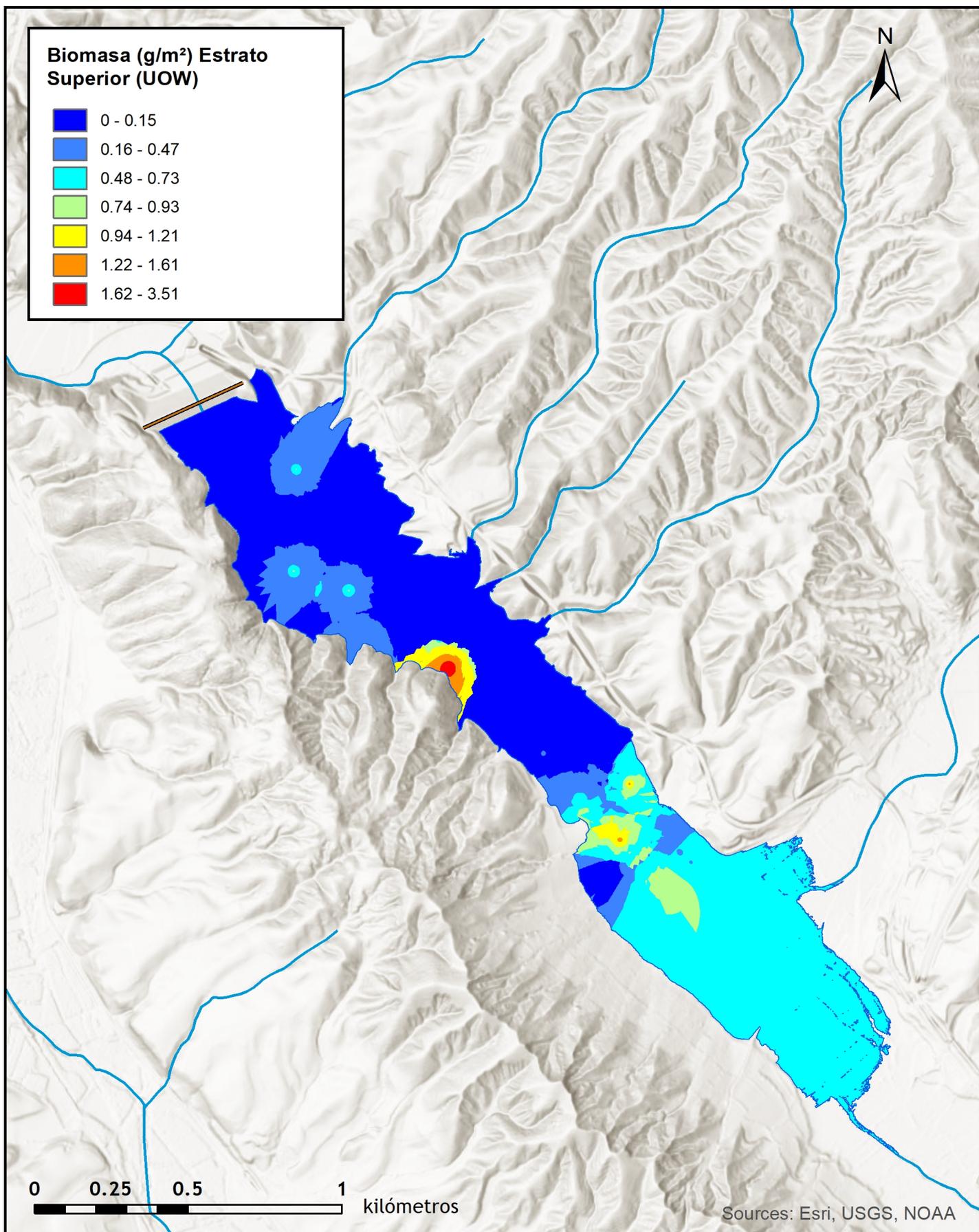
**SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES
DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:
LECHAGO**



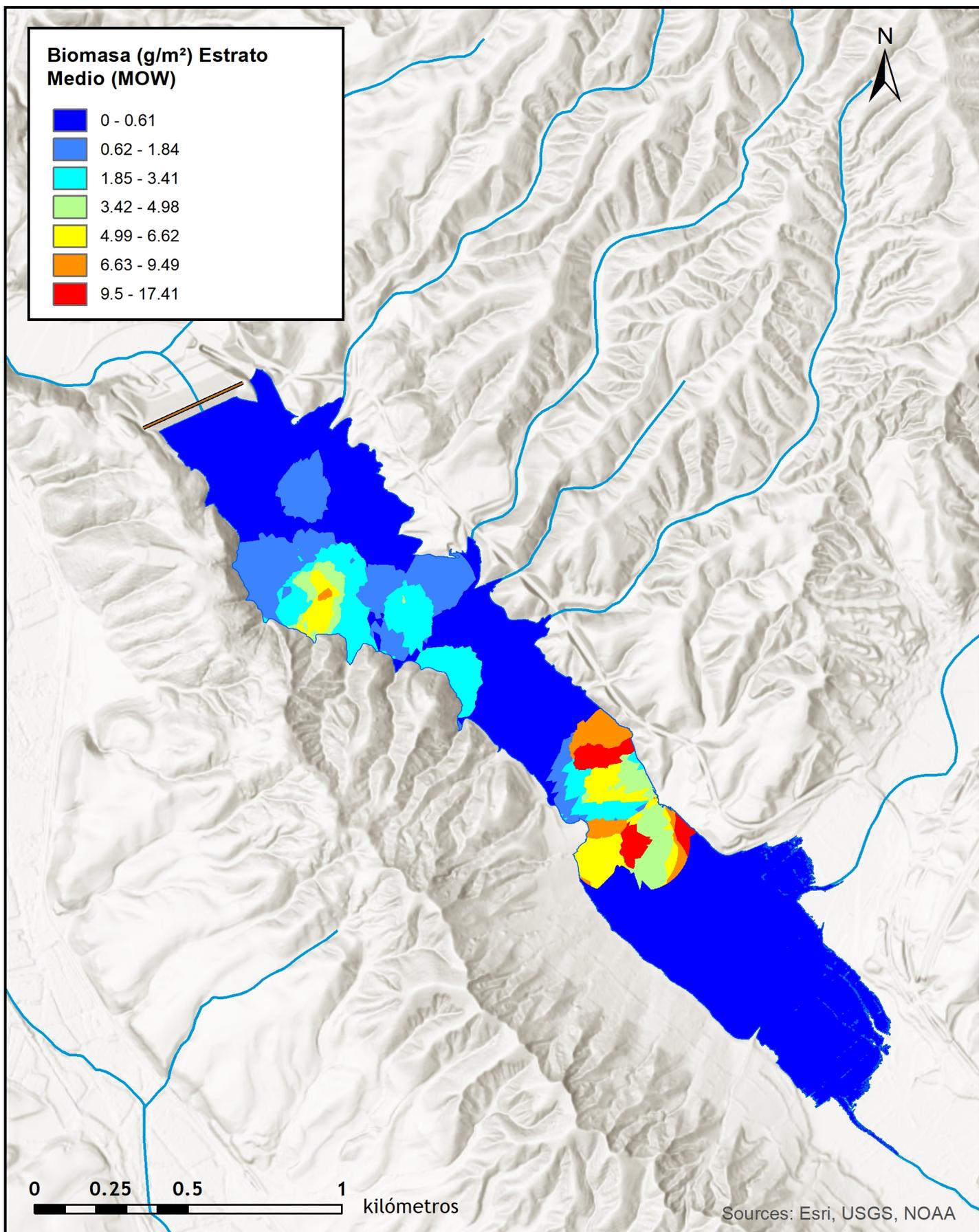
SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES
DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:
LECHAGO

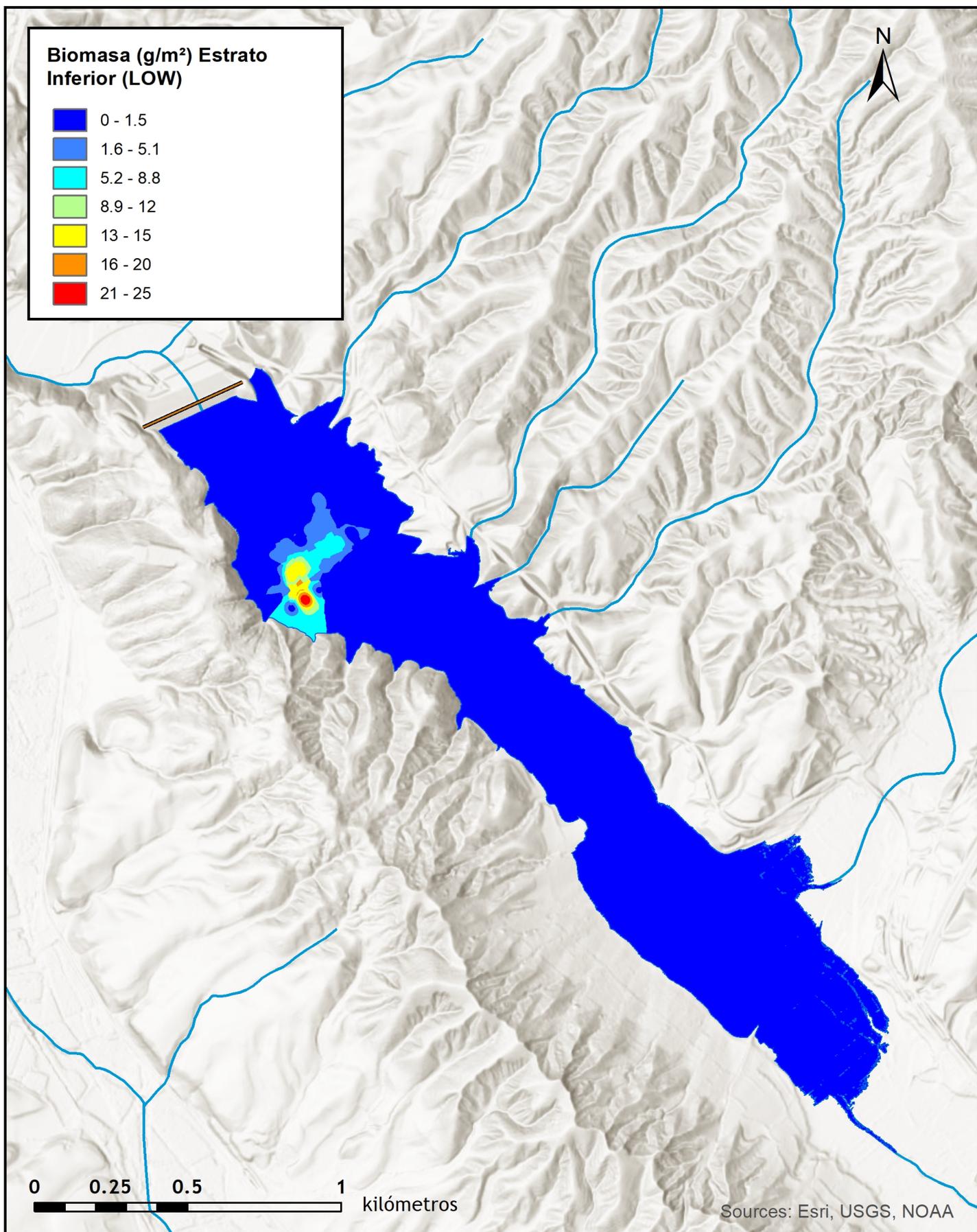


**SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES
DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:
LECHAGO**



**SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES
DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:
LECHAGO**





**SONDEO HIDROACÚSTICO EN EMBALSES
DE LA DEMARCACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO:
LECHAGO**



MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



ANEXO 5. BOLETINES DE ENSAYO eDNA

TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA EBRO
ESPECIE/S:	<i>Anguilla anguilla/Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	EC20012_4	
Procedencia:	Embalse de Lechago	
Código de proyecto:	EC20012	

Recepción de muestras en el laboratorio

Fecha:	04/11/2020
Técnico:	Alberto Criado
Nº Muestras:	9
Estado de las muestras:	Frías
Almacenaje:	Congelación

Código de muestra	Chequeo
LEC20_RA01F	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA01M	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA01S	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02F	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02M	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02S	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03F	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03M	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03S	<input checked="" type="checkbox"/>



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA EBRO
ESPECIE/S:	<i>Anguilla anguilla/Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	EC20012_4	
Procedencia:	Embalse de Lechago	
Código de proyecto:	EC20012	

Filtración de muestras de agua

Técnico:	Alicia García Gallego
Almacenaje:	Congelación
Incidencias:	Ninguna

Muestras filtradas			
Código	Volumen (L)	Nº filtros	Fecha
LEC20_RA01F	1	2	30-oct
LEC20_RA01M	1	2	30-oct
LEC20_RA01S	1	2	30-oct
LEC20_RA02F	1	2	30-oct
LEC20_RA02M	1	2	30-oct
LEC20_RA02S	1	2	30-oct
LEC20_RA03F	1	2	30-oct
LEC20_RA03M	1	2	30-oct
LEC20_RA03S	1	2	30-oct
CONTROL_Filtración_LEC	1	1	30-oct



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA EBRO
ESPECIE/S:	<i>Anguilla anguilla/Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	EC20012_4	
Procedencia:	Embalse de Lechago	
Código de proyecto:	EC20012	

Extracción de ADN

Fecha:	27-ene
Técnico:	Dra. Laura Miralles y Alicia García Gallego
Método de extracción:	Kit Qiagen
Número de muestras:	10
Incidencias:	No

Muestras extraídas		
Código	Volumen (µL)	Quality Check
LEC20_RA01F	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA01M	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA01S	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02F	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02M	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA02S	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03F	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03M	100	<input checked="" type="checkbox"/>
LEC20_RA03S	100	<input checked="" type="checkbox"/>
CONTROL_Filtración_LEC	100	<input checked="" type="checkbox"/>



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA EBRO
ESPECIE/S:	<i>Anguilla anguilla/Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	EC20012_4	
Procedencia:	Embalse de Lechago	
Código de proyecto:	EC20012	

DetECCIÓN POR PCR

Especie:	<i>Salmo trutta</i>	Límite de cuantificación (Lq) 0,5 e -14 ng/µL
Técnico:	Dra. Laura Miralles	
Incidencias:	NO	

	1º Amplif.	2º Amplif.	
Termociclador:	7.900 HT Fast Real Time PCR System (Life Technologies)	7.900 HT Fast Real Time PCR System (Life Technologies)	
Fecha:	11/02/2021	12/02/2021	
R2:	0.9909	0.9895	
Imagen:	EC20012_qPCR3	EC20012_qPCR4	

Resultados

Código	Cuantificación (ng/µL)	Cuantificación (ng/µL)	
LEC20_RA01F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA01M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA01S	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02S	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03S	<Lq	<Lq	
CONTROL_Filtración_LEC	<Lq	<Lq	
CONTROL_Extracción_LEC	<Lq	<Lq	
CONTROL_PCR_	<Lq	<Lq	
CONTROL_POSITIVO	0.1	0.1	

Conclusión

No se detecta la presencia de trucha común (*Salmo trutta*) en el muestreo realizado en el embalse de Lechago.

FIRMA DEL RESPONSABLE
DEL ENSAYO:



TIPO DE ENSAYO:	eDNA	CLIENTE  CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA EBRO
ESPECIE/S:	<i>Anguilla anguilla</i> / <i>Salmo trutta</i>	
INFORME DE ENSAYO Nº:	EC20012_4	
Procedencia:	Embalse de Lechago	
Código de proyecto:	EC20012	

Especie:	<i>Anguilla anguilla</i>	Límite de cuantificación (Lq) 1,0 e -14 ng/µL
Técnico:	Dra. Laura Miralles	
Incidencias:	NO	

	1º Amplif.	2º Amplif.	
Termociclador:	7.900 HT Fast Real Time PCR System (Life Technologies)	7.900 HT Fast Real Time PCR System (Life Technologies)	
Fecha:	11/02/2021	12/02/2021	
R2:	0.9988	0.9996	
Imagen:	EC20012_qPCR1	EC20012_qPCR2	

Resultados

Código	Cuantificación (ng/µL)	Cuantificación (ng/µL)	
LEC20_RA01F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA01M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA01S	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA02S	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03F	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03M	<Lq	<Lq	
LEC20_RA03S	<Lq	<Lq	
CONTROL_Filtración_LEC	<Lq	<Lq	
CONTROL_Extracción_LEC	<Lq	<Lq	
CONTROL_PCR_	<Lq	<Lq	
CONTROL_POSITIVO	0.1	0.01	

Conclusión

No se detecta la presencia de anguila (*Anguilla anguilla*) en el muestreo realizado en el embalse de Lechago.

FIRMA DEL RESPONSABLE
DEL ENSAYO:

