



MINISTERIO  
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA  
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

**SECRETARÍA DE ESTADO DE MEDIO  
AMBIENTE**

**DIRECCIÓN GENERAL DEL AGUA**

**CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO**

Oficina de Planificación Hidrológica

Q5017001 H

CLAVE:

**09.803.0459/0411**

CLASE:

**CONTRATO DE SERVICIO**

REF. CRONOLÓGICA:

**05/2023**

TÍTULO:

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS  
EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

PRESUPUESTO DE ADJUDICACIÓN:

**543.858,70 €**

PRESUPUESTO PARA LIQUIDACIÓN:

**491.676,49 €**

DIRECTOR:

**ROGELIO GALVÁN PLAZA**

CONSULTOR:

**U.T.E. PROSERMAR-CEMOSA**

TOMO:

**ÚNICO**

EJEMPLAR:

**1 DE 1**

CONTENIDO:

**MEMORIA Y ANEJOS (DIGITAL)**



## MEMORIA

1	RESUMEN Y CONCLUSIONES .....	1
2	INTRODUCCIÓN .....	4
3	ANTECEDENTES.....	6
4	ESTUDIO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO .....	8
4.1	Levantamiento batimétrico y topográfico del embalse de Mequinenza. Reseña de topografía y batimetría. ....	8
4.1.1	Descripción del trabajo batimétrico y topográfico .....	8
4.1.2	Medios utilizados .....	9
4.1.3	Datos previos.....	11
4.1.4	Procedimientos.....	15
4.1.5	Desarrollo de los trabajos de campo.....	22
4.1.6	Procesado de batimetría.....	34
4.1.7	Procesado de LIDAR .....	34
4.1.8	Resultados y validación .....	36
4.2	Análisis batimétrico y topográfico .....	38
4.2.1	Modelo digital del terreno (MDT).....	38
4.2.2	Cálculo de Volúmenes.....	38
4.2.3	Comparación con batimetrías previas.....	41
4.2.4	Perfiles transversales .....	52
4.2.5	Perfil longitudinal .....	53
5	ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO .....	56
5.1	Embalse de Mequinenza. Reseña sedimentológica .....	57
5.1.1	Toma de muestras de sedimento sumergido .....	57
5.1.2	Resultados analíticos de las muestras de sedimento sumergido .....	59
5.1.3	Sondeos .....	79
5.1.4	Resultados analíticos de las muestras de los sondeos .....	82
5.2	Embalse de Ribarroja. Reseña sedimentológica .....	99
5.2.1	Toma de muestras de sedimento sumergido y sondeos .....	99

5.2.2 Resultados analíticos de las muestras de sedimento sumergido y sondeos.....106

## ANEJOS

- ANEJO 1. MEQUINENZA. Programación. Plan de trabajo de campo de batimetría
- ANEJO 2. MEQUINENZA. Levantamiento batimétrico y topográfico
- Anejo 2.1. Especificaciones de los equipos empleados
  - Anejo 2.2. Informe sobre la Variabilidad cola-presa de la cota de agua en el embalse de Mequinenza (Flumen-UPC)
  - Anejo 2.3. Informes de control de la calidad de los trabajos (Flumen – UPC)
  - Anejo 2.4. Perfiles de velocidad del sonido (SVP)
  - Anejo 2.5. Niveles de embalse quinceminutales abril-diciembre 2022
  - Anejo 2.6. Plano director de los trabajos topográficos y batimétricos
  - Anejo 2.7. Volúmenes y superficies
  - Anejo 2.8. Curva de embalse
  - Anejo 2.9. Datos brutos de batimetría y LIDAR
- ANEJO 3. MEQUINENZA. Mapa digital vectorial y ráster de topografía y batimetría
- ANEJO 4. MEQUINENZA. Perfiles transversales y longitudinales
- ANEJO 5. MEQUINENZA Y RIBARROJA. Programación. Plan de trabajo de campo sedimentológico.
- ANEJO 6. MEQUINENZA Y RIBARROJA. Plano director de los trabajos sedimentológicos
- ANEJO 7. MEQUINENZA Y RIBARROJA. Sedimentología
- Anejo 7.1. MEQUINENZA. Muestras de sedimento sumergido superficial
    - 7.1.1. Coordenadas
    - 7.1.2. Planos
    - 7.1.3. Análisis
  - Anejo 7.2. MEQUINENZA. Sondeos
    - 7.2.1. Coordenadas
    - 7.2.2. Planos
    - 7.2.3. Testificación
    - 7.2.4. Perfiles transversales
    - 7.2.5. Comparación con sondeos de 2011
    - 7.2.6. Análisis
  - Anejo 7.3. RIBARROJA. Muestras de sedimento sumergido superficial
    - 7.3.1. Coordenadas
    - 7.3.2. Planos
    - 7.3.3. Análisis
  - Anejo 7.4. RIBARROJA. Sondeos
    - 7.4.1. Coordenadas

7.4.2. Planos

7.4.3. Testificación

7.4.4. Análisis

7.4.5. Autorizaciones de ejecución de sondeos en zona ZEPA

Anejo 7.5. Fotogrametrías

Anejo 7.6. Valores guía para la identificación de sedimentos contaminados

Anejo 7.7. Tablas y actas de los ensayos de laboratorio

ANEJO 8. Mapas con información sedimentológica

ANEJO 9. Fotografías

Anejo 9.1. MEQUINENZA. Batimetría

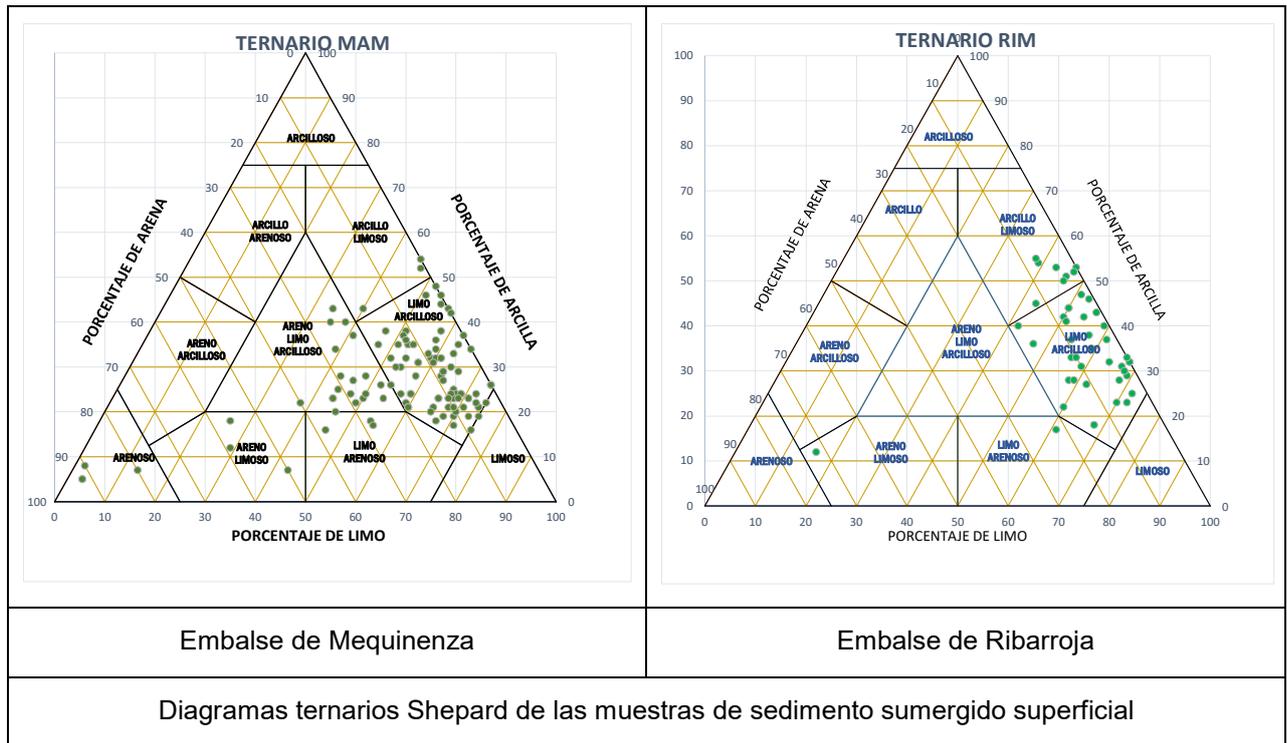
Anejo 9.2. MEQUINENZA. Sedimentos

Anejo 9.3. RIBARROJA. Sedimentos

## 1 RESUMEN Y CONCLUSIONES

- 1) Este trabajo ha comprendido la realización de la batimetría del embalse Mequinenza y la caracterización de los sedimentos de los embalses de Mequinenza y Ribarroja.
- 2) Fruto de los trabajos batimétricos y topográficos (vuelo LIDAR) de alto detalle ejecutados, se ha obtenido un modelo digital del terreno (MDT) de paso de malla 0,5 x 0,5 m y curvas de nivel cada 0,5 m del vaso del embalse de Mequinenza, además de perfiles transversales y longitudinales, curva de embalse y otros productos derivados.
- 3) Los resultados obtenidos han sido sometidos a un proceso de supervisión y validación externa. Además, se han realizado observaciones alternativas de verificación topográfica en campo, demostrando una plena coherencia y precisión. Se ha garantizado que el producto final haya respondido al máximo rigor técnico.
- 4) La cubicación realizada conforme a este MDT para la cota 121,00 de Nivel Máximo Normal arroja un resultado de 1.372,67 hm<sup>3</sup> frente a los 1.534 hm<sup>3</sup>, considerados hasta ahora y contemplados en el proyecto original de la presa y salto hidroeléctrico de Mequinenza de 1961. La diferencia es de 161 hm<sup>3</sup>.
- 5) La comparación con batimetrías y topografías anteriores revela discordancias solo explicables por la menor precisión de las técnicas empleadas en el pasado. En este trabajo se han utilizado métodos mucho más precisos posibilitados por la evolución tecnológica (batimetría multihaz para el terreno sumergido y vuelo LIDAR para el emergido). Se trata, por tanto, de diferencias metodológicas debidas al natural avance del conocimiento científico-técnico. Esto impide realizar un cálculo ajustado del volumen de sedimento realmente acumulado.
- 6) Es necesario realizar, más allá de este trabajo, una tarea más profunda de recuperación de la información cartográfica del pasado para poder establecer con mayor precisión el volumen del vaso del embalse en fechas anteriores y con ello estimar con mayor certidumbre el sedimento acumulado en el periodo 1966 (primer llenado parcial) - 2022.
- 7) Los muestreos de sedimentos sumergidos superficiales en los embalses de Mequinenza y Ribarroja (127 y 54 respectivamente) revelan con carácter general texturas limo-arcillosas bastante homogéneas a lo largo de ambos. En el embalse de Ribarroja se puede percibir una presencia mayor de materiales más arcillosos, mientras que se aprecian contenidos más arenosos en Mequinenza. En ambos casos, los contenidos de arena son muy bajos: 7,7 % en Ribarroja y 18,5 % en Mequinenza (promedio de todas las muestras).

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



- 8) En el caso del embalse de Ribarroja se aprecia una cierta tendencia hacia materiales más finos según nos acercamos a la presa, con una mínima ruptura en la tendencia por la desembocadura del río Matarraña. En Mequinenza no es tan perceptible esta misma tendencia.
- 9) No se ha detectado contaminación en los sedimentos en ninguno de los dos embalses. Las concentraciones de metales son superiores a las de los materiales locales o previos al embalse, pero, salvo casos muy aislados, se encuentran en la parte baja de los rangos de clasificación utilizados como valores guía para la identificación de la contaminación en sedimentos. En cuanto a los compuestos orgánicos, todos los puntos, excepto dos en Mequinenza con valores mínimos, han registrado valores por debajo de los límites de detección de los aparatos de laboratorio y en todo caso admisibles.
- 10) Los 20 sondeos ejecutados en el embalse de Mequinenza en sedimento emergido han obtenido columnas de sedimentos de máximo 10-12,5 m, siendo común en las zonas de mayor acumulación de sedimentos espesores de 8-10 m. El análisis de las muestras obtenidas a lo largo de las columnas, no ha revelado discontinuidades relevantes o patrones temporales claros en las granulometrías de los materiales o en la concentración de metales o compuestos orgánicos, siendo similares a los del sedimento sumergido superficial.
- 11) La estabilidad en niveles altos de la lámina del embalse de Ribarroja ha impedido disponer de sedimento emergido sobre el que realizar sondeos profundos. Los sondeos

realizados desde la orilla en la desembocadura del Matarraña han permitido obtener columnas como máximo de 3 m. No han revelado diferencias significativas con el sedimento sumergido superficial.

- 12) Los trabajos han contado con la supervisión y asesoría experta de especialistas universitarios en la materia encuadrados en la Universidad Politécnica de Cataluña (Instituto Flumen) y en la Universidad del Lleida, así como del Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas). Esto ha conducido a mejoras tanto en la planificación, ejecución y control de los trabajos batimétricos como en la ubicación y ejecución de los trabajos de muestreo sedimentario y sus analíticas.

## **2 INTRODUCCIÓN**

El presente documento responde a la ejecución del contrato de servicios: CLAVE: 09.803.0459/0411 **“PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA”**.

El plan hidrológico de la demarcación hidrográfica del Ebro actualmente vigente fue aprobado mediante el Real Decreto 35/2023, de 24 de enero.

Este plan hidrológico recoge en su programa de medidas (Anejo 12 de su Memoria) un apartado 6.3 dedicado a la adecuación de dicho programa de medidas para la protección del delta del Ebro.

Como se señala en dicho apartado del plan hidrológico, “El delta del Ebro es un espacio muy singular dentro de la demarcación, dónde físicamente se conectan lo continental y lo costero. La elevación del nivel del mar, motivada por el cambio climático, y coadyuvada por la disminución del aporte de sedimentos, tanto por causas naturales como por la retención en los embalses, representa un desafío para su pervivencia.

La problemática del Delta del Ebro abarca una gran cantidad de materias. El documento denominado Plan para la Protección del Delta del Ebro, sometido a consulta pública entre el 3 de febrero y el 5 de abril de 2021, engloba una serie de actuaciones, aportando una visión holística del problema. En la elaboración del Plan para la protección del delta del Ebro, han participado la Dirección General de la Costa y el Mar, la Dirección General del Agua y la Confederación Hidrográfica del Ebro, con el soporte técnico científico del CEDEX. Su objetivo final es desarrollar en el corto, medio y largo plazo distintas acciones que, fomentando el conocimiento y la transparencia, permitan paliar o gestionar los problemas derivados de la gestión del delta en la actualidad y ante los previsibles efectos del cambio climático, con medidas tanto en el ámbito fluvial como litoral”.

Tomando las actuaciones del previsto Plan para la Protección del Delta del Ebro, así como los preceptos el artículo 19 de la Ley 7/2021, de 20 de mayo de cambio climático y transición energética, así como el artículo 4bis del Reglamento de la Planificación Hidrológica, en relación con los sedimentos, el programa de medidas del plan hidrológico recoge una serie de actuaciones que quedan integradas en el marco más extenso de la denominada “Estrategia para la gestión integral de sedimentos en la demarcación hidrográfica del Ebro”.

Esta estrategia agrupa en un bloque inicial una serie de actuaciones bajo el título “mejora del conocimiento y bases de partida”, entre las que se encuentra la “Cartografía del embalse de Mequinenza y caracterización de sedimentos existentes en Mequinenza y Ribarroja”, la cual es objeto de este trabajo.

El conocimiento de la acumulación y caracterización de los sedimentos en estos dos embalses es fundamental para el desarrollo de fases posteriores de la estrategia, como pueden ser la modelización hidrodinámica del tránsito de sedimentos desde estos embalses, o la realización de pruebas piloto y ensayos de aplicación de la gestión de sedimentos.

Los resultados de este trabajo constituyen pues una base sobre la que edificar otras acciones, por lo que el rigor y la máxima precisión en los resultados ha sido el mayor empeño en su desarrollo. Para lograrlo, se ha contado con la supervisión y asesoría experta de especialistas universitarios en la materia encuadrados en la Universidad Politécnica de Cataluña (Instituto Flumen) y en la Universidad del Lleida, así como del propio Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas).

### **3 ANTECEDENTES**

En abril de 2020 el CEDEX elaboró una Nota Técnica, inédita, aunque recogida esencialmente en los borradores del Plan para la Protección del Delta del Ebro, en la que realizaba un compendio y analizaba la documentación técnica existente sobre el transporte de sedimentos en el tramo bajo del río Ebro, y susceptible de aportar información sobre la acumulación de sedimentos en los embalses de Mequinenza y Ribarroja.

Se trataría de los siguientes documentos, resaltándose en negrita los de mayor interés para este trabajo, conforme también lo previsto en el pliego de prescripciones técnicas:

- **PROYECTO DE SALTO DE MEQUINENZA. (ENHER 1961)**, [Se trata del proyecto que se ejecutaría de la presa de Mequinenza que recoge una serie de planos topográficos 1:10.000 del vaso del embalse, y que constituye el estado topográfico inicial]
- **RECONOCIMIENTO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE DE MEQUINENZA (ZARAGOZA) SEPTIEMBRE-OCTUBRE DE 1970 (CEDEX, 1971)**
- PLAN INDICATIVO DE USOS DEL DOMINIO PÚBLICO LITORAL DEL DELTA DEL EBRO (DIRECCIÓN GENERAL DE COSTAS, 1978)
- **RECONOCIMIENTO BATIMÉTRICO DEL EMBALSE DE MEQUINENZA (CEDEX, 1982)**
- EL MEDIO AMBIENTE HÍDRICO EN EL DELTA DEL EBRO (CEDEX, 2002; INÉDITO)
- APLICACIÓN DE TECNOLOGÍAS ACÚSTICAS EN LA DETECCIÓN Y EVALUACIÓN DE POBLACIONES DE PECES Y MEJILLÓN CEBRA EN LOS EMBALSES DE LA CUENCA DEL EBRO” (CHE, ECOHYDROS, 2008)
- BALANCE DE SEDIMENTOS DEL TRAMO FINAL DEL RÍO EBRO (ACA, 2009)
- **ESTUDIO DE LADINÁMICA SEDIMENTARIA Y BATIMETRÍA DE PRECISIÓN DEL EMBALSE DE RIBARROJA (CHE, GRUPO FLUMEN-UPC, 2009)** [Aparte de la batimetría, en este trabajo se realizaron 16 muestreos y análisis del sedimento sumergido]
- **EVALUACIÓN PRELIMINAR DE LOS LODOS ACUMULADOS EN LA COLA DEL EMBALSE DE MEQUINENZA (CHE, CONTROL DE OBRA CIVIL, 2011)** [El trabajo incluyó la realización de 10 sondeos obteniendo las correspondientes columnas estratigráficas]
- APROXIMACIÓN AL VOLUMEN DE SEDIMENTOS DEL EMBALSE DE MEQUINENZA EN 2008 (CHE, TRAGSATEC, 2012)

- NIVELACIÓN DE PRECISIÓN Y ESTIMACIÓN DE LA ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EN EL EMBALSE DE MEQUINENZA (CHE, CONTROL DE OBRA CIVIL, 2012).
- EVALUACIÓN PRELIMINAR SOBRE LAS POSIBILIDADES DE RESTAURACIÓN DEL TRÁNSITO SEDIMENTARIO EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA-RIBARROJA-FLIX (CHE, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, 2018)

Además de todos estos trabajos, en fechas más recientes se han llevado a cabo:

- CAMPANYA BATIMÈTRICA A L'EMBASSAMENT DE RIBA-ROJA D'EBRE (ENDESA, INSTITUTO FLUMEN-UPC, GEOMETRA, 2020)
- ANÁLISIS DE LOS SEDIMENTOS DEPOSITADOS EN EL EMBALSE DE RIBARROJA EN EL PERIODO 2008-2020 (CHE, INSTITUTO FLUMEN-UPC, 2021)

Estos últimos trabajos recogen la nueva batimetría realizada en el embalse de Ribarroja en 2020 por parte de ENDESA GENERACIÓN, y la evaluación de la acumulación de sedimentos desde la realización del anterior trabajo de 2009.

## **4 ESTUDIO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO**

### **4.1 LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO DEL EMBALSE DE MEQUINENZA. RESEÑA DE TOPOGRAFÍA Y BATIMETRÍA.**

#### **4.1.1 Descripción del trabajo batimétrico y topográfico**

Los trabajos batimétricos realizados en el embalse de Mequenza se pueden descomponer en tres tareas diferentes. La primera corresponde a los trabajos de campo necesarios para recabar información del terreno sumergido bajo las aguas; la segunda el vuelo con dron equipado con un equipo LIDAR de las zonas no sumergidas, con sus correspondientes apoyos topográficos; y, en tercer lugar, los trabajos de gabinete consistentes en la unificación de todos estos datos para la generación un modelo digital del fondo del embalse de Mequenza.

Para el levantamiento batimétrico se utilizó un equipo de sonda de multihaz montada sobre embarcación que permite coleccionar datos de coordenadas georreferenciadas y cotas relativas al nivel del mar en Alicante, apoyadas en la REDNAP (Red Española de Nivelación de Alta Precisión). La línea de agua, así como los terrenos emergidos del fondo del embalse se levantaron mediante vuelo LIDAR montado sobre dron.

Tanto el sistema multihaz como el LIDAR integran GPS RTK y obtienen las correcciones diferenciales vía NTRIP. Solo en las zonas sin cobertura telefónica se ha requerido un sistema alternativo que en el caso de la batimetría se basa en correcciones diferenciales Atlas H10 por satélite y, para el dron, base GPS de RTK con radio enlace. Las bases locales se han ajustado mediante observaciones estáticas y correcciones con ficheros RINEX registrados por las bases de referencia RTK accesibles y cercanas.

Las bases cercanas como se pueden ver en la imagen posterior son ZARAGOZA, SARIÑENA, QUINTO, MEQUINENZA, ALCAÑIZ y MUNIESA, pertenecientes a la Red ARAGEA; ZARAGOZA y FRAGA del IGN y LLEIDA de la Red de Catalunya.

(<http://redgae.ign.es/estaciones> y <http://ntrip.rep-gnss.es/>)

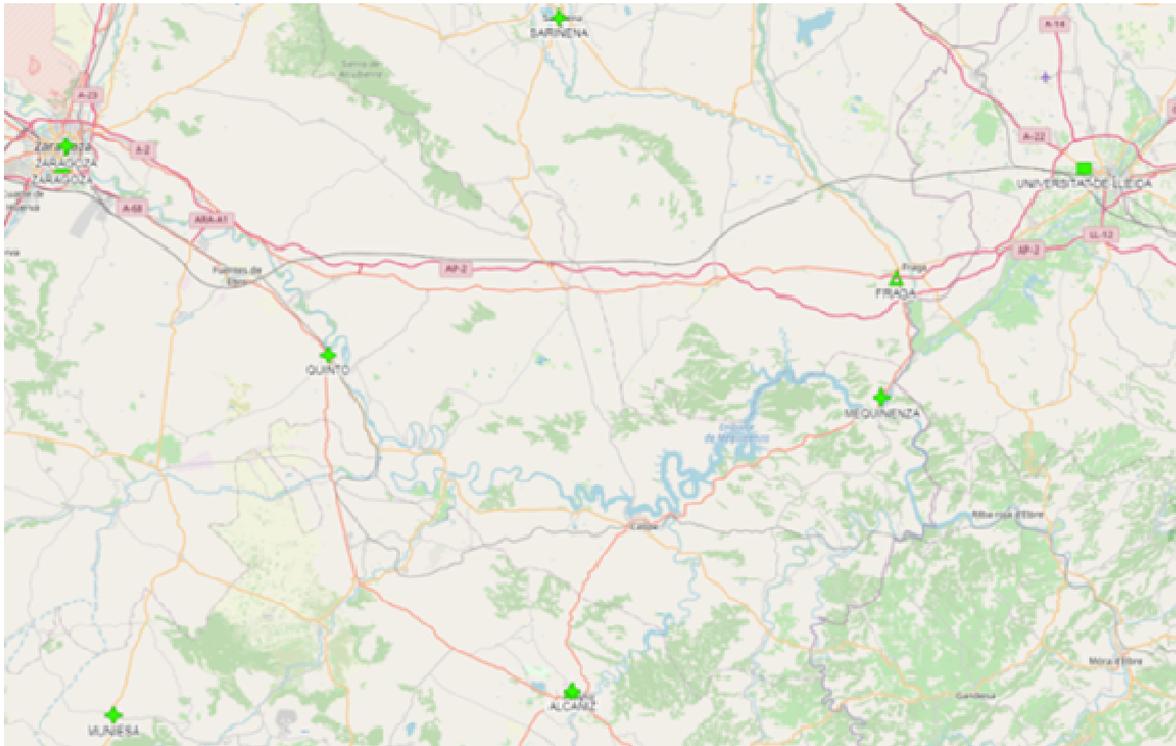


Figura 1. Bases de referencia RTK NTRIP.

Para alcanzar un solape conveniente los trabajos de vuelo se han realizado con un nivel de embalse inferior al de batimetría.

La proyección a utilizar es la UTM ETRS89 huso 30N extendido en las zonas de la presa que correspondería al 31N.

#### 4.1.2 Medios utilizados

El levantamiento batimétrico del terreno sumergido se ha llevado a cabo con un equipo hidrográfico Multihaz interferométrico (GeoSwath+ de 250KHz de Geoacoustics-Kongsberg) montado sobre una embarcación y que garantiza la cobertura del 100% del lecho del embalse

Las sondas multihaz requieren equipos periféricos como son compensadores de movimientos (MRU-H de Seatex); sensor de rumbo y posición (VS1000 de Hemisphere); y Perfilador de Velocidad del sonido, (SVP AML).

El equipo VS1000 de hemisphere, GPS con doble antena que permite obtener posición GPS RTK con correcciones ATLAS H10 (activado) así como el rumbo de la embarcación, de forma continua y sin saltos por pérdida de cobertura.

El software para la integración de todos los equipos abarca las siguientes licencias: HyPack-HySweep 2017, GS4 2016 y Quinsy V8.

El equipamiento de topografía terrestre se basa en el modelo Emlid Reach RS2 con wifi y bluetooth integrados que permiten su conexión a redes NTRIP y trabajo en postproceso.

Para los trabajos de batimetría y tomas de muestras de sedimentos se utilizaron las embarcaciones gemelas “Prosemar Siete” y “Mareante”, botes de polietileno de alta densidad de 4 metros de eslora y motor fueraborda de 8 Cv, que, sobre remolques, permiten acceder desde cualquier punto accesible a los embalses.

Los botes han sido convenientemente desinfectados y tratados, así como autorizados mediante declaración responsable para las actividades de batimetrías y retirada de muestras por el departamento correspondiente de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE).

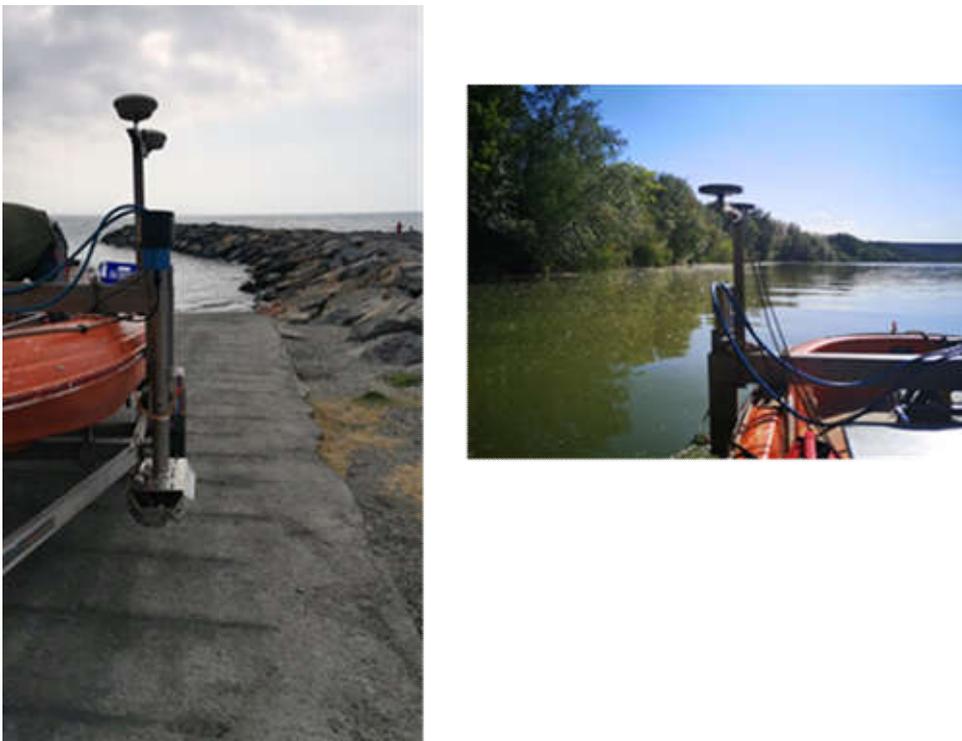


Figura 2. Embarcación “Prosemar Siete con equipo hidrográfico instalado,

El dron con el que se han realizado los trabajos cuenta con una cámara de 20 megapíxeles y un obturador mecánico en un estabilizador de 3 ejes. En un único vuelo, el dron es capaz de proporcionar una nube de puntos de hasta 2 kilómetros cuadrados con una frecuencia de 240.000 puntos por segundo y un alcance de detección de 450 metros. Además, el dron cuenta con la certificación IP44 por lo que puede utilizarse en entornos con lluvias y con niebla, aunque no ha sido necesario ser utilizado bajo estas condiciones.

El LIDAR embarcado en el cuadricóptero está configurado con un triple rebote de señal, lo cual permite un filtrado rápido y preciso de la vegetación.



Figura 3. Dron DJI Matrice 300 RTK

#### 4.1.3 Datos previos

El CEDEX en 2020 redactó una nota técnica sobre la “Caracterización de los sedimentos existentes en los embalses de Mequinenza y Ribarroja y en el curso bajo del río Ebro” (CEDEX 2020). De ella y de la información remitida por el mismo CEDEX se obtienen las referencias sobre trabajos batimétricos precedentes que servirán para el análisis comparativo.

En primer lugar, se dispone de la topografía original del proyecto de 1961 digitalizada y vectorizada parcialmente para la cola del embalse por la empresa Control de Obra Civil para la CHE en 2012 y el conjunto restante por el CEDEX en 2020. Como más adelante se indica, esta digitalización tiene dos limitaciones: la automática de Control de Obra Civil registra líneas que no son curvas de nivel, mientras que la digitalización del CEDEX, más cuidadosa y fiable, solo pudo digitalizar las curvas de nivel principales. Por otro lado, en el solape entre ambas se aprecia una ligera desviación. Esta topografía original a escala 1:5000 de toda la zona del embalse se apoyó en una triangulación general realizada por el Instituto Geográfico Nacional, conforme la documentación del proyecto de 1961.

El CEDEX en 1970 realizó una batimetría, con vuelo fotogramétrico y sonda, basada en tramos y hasta la cota 121,15 msnm (CEDEX 1971). Para el cálculo de volumen utilizaba la fórmula de Eakin, para cubicación por tramos de embalse comprendidos entre perfiles consecutivos, teniendo en cuenta la superficie de los mismos, el área superficial comprendida entre ellos, así

como también la longitud de los propios perfiles. Dicha fórmula viene referida ampliamente en la publicación “Reconocimiento Batimétrico de Embalses” del CEDEX.

En 1982 se vuelve a hacer una cubicación, con vuelo fotogramétrico y sonda. Las curvas de nivel obtenidas se digitalizaron y vectorizaron. Lamentablemente de esta batimetría de 1982 no se conserva un informe descriptivo.

En 2012 la CHE realizó una cubicación a partir de trabajos de Control de Obra Civil y TRAGSATEC.

Conforme lo previsto en el pliego de prescripciones, a efectos de comparación por diferencias de capacidad de embalse se decide utilizar la topografía digitalizada y vectorizada de 1961, frente a la de 1982, que habría de servir a efectos de calibrar la evolución temporal, descartándose en principio la cubicación de 1970, que el CEDEX no consideraba precisa. El comparativo se realiza con la misma distribución de tramos empleados por el CEDEX desde su primera batimetría, por lo que en este estudio se utilizan estos mismos tramos, 51, a los que se añade un tramo 52 para la cubicación de la zona de río-embalse que llegaría hasta el Azud del monasterio de Rueda y no considerado en batimetrías anteriores y misma longitudinal a efectos de definir los puntos kilométricos (Pk).

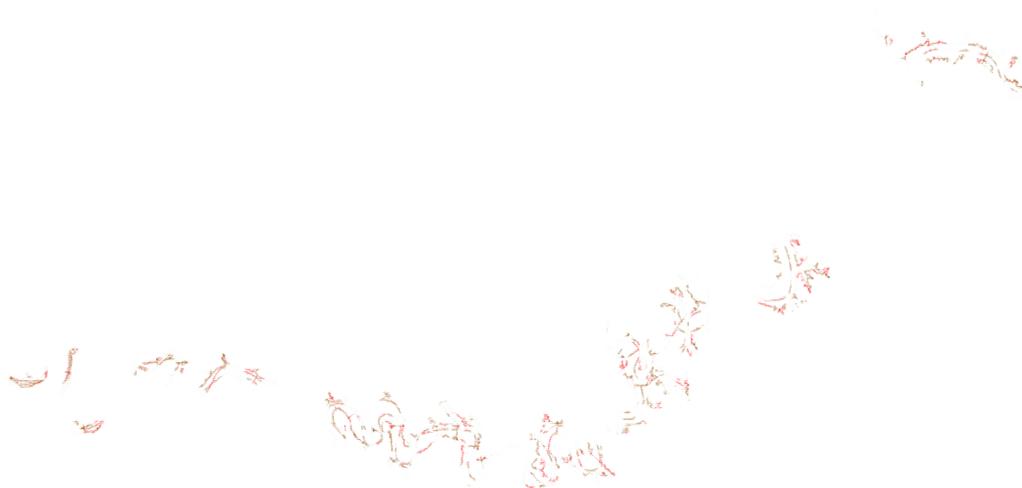


Figura 4. Tramos CEDEX

Se ha elaborado un plano director en Autocad, transformado también a GIS, y escalable a 1:5000 recogiendo los tramos de comparación con los estudios precedentes (1961,1971, y 1982), y para cada tramo según las profundidades previstas se han definido el número de

pasadas (la navegación y levantamiento multihaz es paralelo a las orillas). Se adjunta en el Anejo 2 una tabla con esos valores.

Los vuelos LIDAR con dron se realizaron también con pasadas longitudinales paralelas al cauce.

Se han definido subtramos para completar los brazos más anchos e importantes y la hoz de la isla mediana (La Herradura).

**Tabla 1. Tramos utilizados por el CEDEX**

	Tramo Longitud del Tramo (m)	Distancia Acumulada a la presa (Km)
T 1	2251.31	2.25
T 2	1857.72	4.11
T 3	1455	5.56
T 4	1750.48	7.31
T 5	2153.91	9.47
T 6	1159.15	10.63
T 7	2154.14	12.78
T 8	2101.45	14.88
T 9	1531.18	16.41
T 10	1479.17	17.89
T 11	1137.87	19.03
T 12	1828.36	20.86
T 13	2120.44	22.98
T 14	3922.63	26.9
T 15/16	2456.86	29.36
T 17	2678.23	32.04
T 18	1641.35	33.68
T 19	1659.47	35.34
T 20	1714.1	37.05
T 21	1827.12	38.88
T 22	504.41	39.38
T 23	2320.64	41.7
T 24	3024.48	44.73
T 25	834.2	45.56
T 26	3129.93	48.69
T 27	889.71	49.58
T 28	2487.05	52.07
T 29	3790.85	55.86
T 30	3300.35	59.16
T 31	2227.86	61.39
T 32	2021.53	63.41
T 33	2582.55	65.99
T 34	2308.18	68.3
T 35	1334.15	69.64
T 36	2574.3	72.21
T 37	2562.69	74.77
T 38	1814.13	76.59
T 39	2518.03	79.1
T 40	1054.19	80.16
T 41	2800.8	82.96
T 42	3458.04	86.42
T 43	1430.42	87.85
T 44	1931.25	89.78
T 45	1487.49	91.27
T 46	1559.81	92.83
T 47	2702.24	95.53
T 48	7195.45	102.72
T 49	1044.68	103.77
T 50	2766.52	106.54
T 51	1571.57	108.11

#### 4.1.4 Procedimientos

##### 4.1.4.1 Posicionamiento

*Sistema empleado.*

La toma de datos de posición para la realización del levantamiento se hace con un GPS centimétrico RTK VS1000 de Hemisphere. Es un GPS con doble antena que permite obtener posición con correcciones NTRIP o ATLAS H10 (activado) así como el rumbo de la embarcación, de forma continua y sin saltos por pérdida de cobertura.



Figura 5. GPS y rumbo VS100

Durante todo el trabajo se ha ido controlando la precisión de este equipo y siempre ha estado por debajo de los 5 cm de precisión horizontal (2 sigma).

De este mismo equipo se obtiene el PPS (pulso por segundo de sincronización)

Dado que la cobertura de telefonía a lo largo del embalse es muy deficiente en algunas zonas se decide desde el primer momento de la planificación de los trabajos activar para el equipo GPS el acceso a las correcciones Atlas H10.

Atlas es un innovador servicio global de correcciones a través de Lband desde satélites geoestacionarios, que suministra una solución robusta y competitiva.

El sistema Atlas comunica con estaciones de referencia terrestres a lo largo de todo el planeta y que, comunicando con los satélites con Lband, la distribuyen de una forma virtual.

El sistema es similar al comúnmente extendido NTRIP, acrónimo de Networked Transport of RTCM via Internet Protocol, en este caso el transporte de RTCM se hace a través de la Lband de los satélites geostacionarios

El servicio global de correcciones Atlas GNSS suministra datos de corrección para las constelaciones GPS, GLONASS, BeiDou, y Galileo.

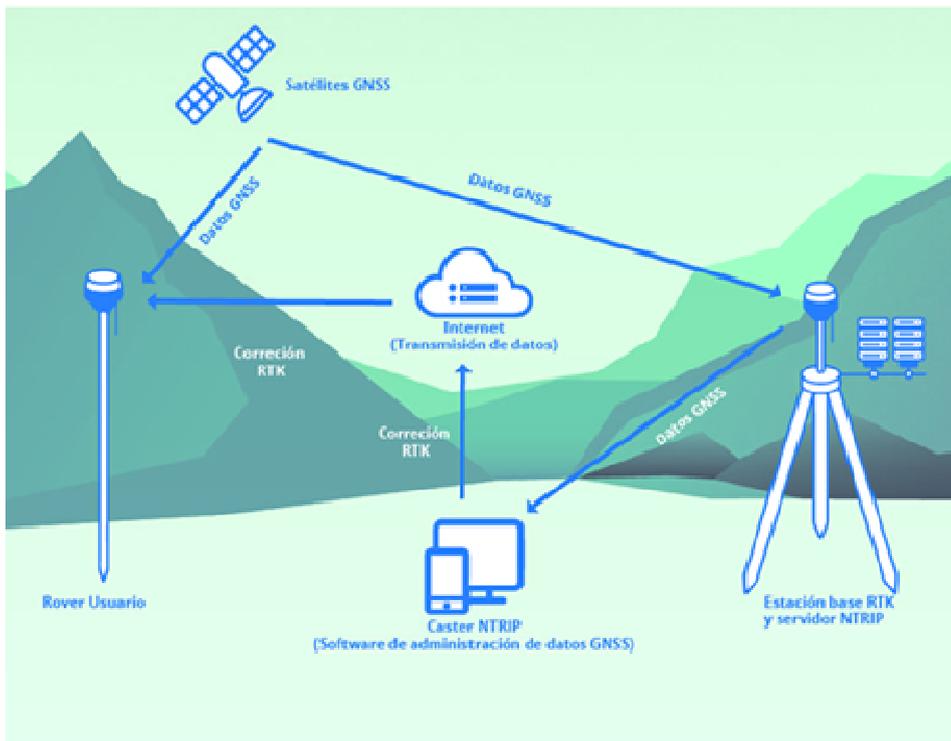


Figura 6. Atlas GNSS

### *Enlace Planimétrico*

El sistema de proyección empleado es el Universal Transversal Mercator (U.T.M), huso 30 norte ETRS 89.

Como el cambio de uso 30 a 31 se produce en el meridiano 0 que atraviesa el embalse, todo el levantamiento se proyecta en el huso 30N.

La altimetría en este caso, y dada las características del trabajo, se determina con referencia al nivel del embalse en cada momento como se detalla en el siguiente punto de este documento.

### **4.1.4.2 Profundidad**

*Sistema empleado. Fundamento tecnológico.*

Para la obtención de las profundidades se ha empleado una ecosonda hidrográfica GeoSwath MULTHAZ interferométrica de la casa británica Geoacoustics. Frecuencia de trabajo 250 KHz.

La sonda GeoSwath Plus es un sistema de sonar batimétrico con medición de fase, también llamado Multihaz interferométrico. Simultáneamente obtiene datos de sonar de barrido lateral y una batimetría con cobertura total. Con su configuración de doble cabeza obtiene un ángulo de visión de más de 240°. La información de profundidad utilizable está limitada solo por la fuerza de la señal reflejada por el fondo subacuático y su absorción alcanzándose una cobertura lateral efectiva de 12 veces la profundidad bajo el transductor.

Cada cabeza tiene cinco elementos cerámicos, uno transmite y cuatro reciben. Cuando el elemento activo transmite la señal. Uno de los elementos receptores registra la amplitud de la señal reflejada por el lecho, adquiriendo datos de sonar de barrido lateral y los cuatro elementos simultáneos determinan, por diferencia de fase de la señal recibida, la dirección del punto donde se reflejó. En combinación con la distancia calculada por el tiempo transcurrido desde la emisión y la recepción resulta la medida de la profundidad.

El algoritmo de la medición por fase determina la dirección de retorno del sonido con una resolución de ángulo de 0.03°. La distancia obtenida mediante diferencias de tiempo alcanza los milímetros de precisión. Los datos obtenidos lateralmente son más de 40 por metro lineal. Con estos valores se pueden asegurar los últimos requerimientos del estándar IHO (International Hydrographic Organization) para trabajos de batimetría.

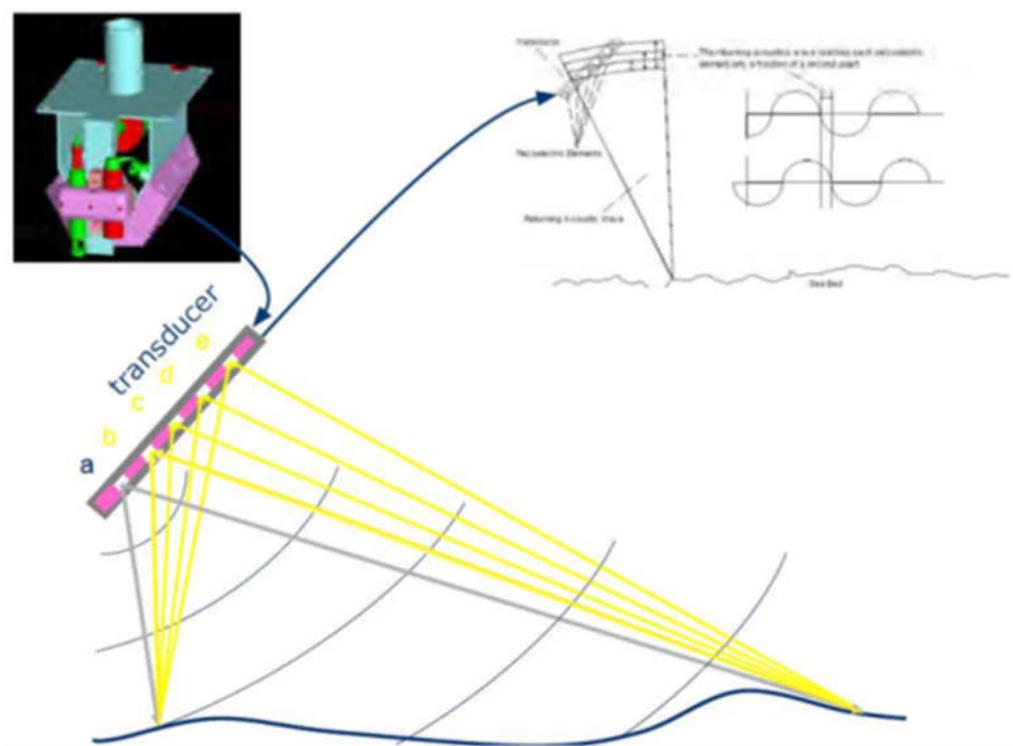


Figura 7. Esquema del sistema empleado en la toma de profundidad.

### Calibraciones.

Para el correcto funcionamiento del equipo se hacen perfiles de velocidad dentro de las zonas de trabajo, varios a lo largo del día. Se fondea el perfilador de velocidad del sonido (SVP) hasta la profundidad máxima observada en cada tramo.

De una adecuada instalación de los equipos y de una medición topográfica de la posición de los mismos dependen los resultados que se obtengan en la calibración que realiza en software realizando pasadas en sentidos opuestos sobre la misma zona plana a una misma velocidad podemos calibrar el ángulo de balanceo (roll) y en una zona con pendiente pronunciada y realizando pasadas en diferentes sentidos podemos calibrar el cabeceo (pitch) y la guiñada (yaw).

Para sistema multihaz se ha ideado un sistema de anclaje a la embarcación lo suficientemente rígido para que no varíen las posiciones relativas de los equipos que intervienen en el sistema: sonda, sensor de movimientos y GPS y a la vez fácilmente medible de cara a una correcta calibración. Y el resultado es plenamente satisfactorio, ya que se obtienen parámetros de corrección mínimos (en el entorno de 0.1°).

### *Filtrados*

Cada pulso genera una gran cantidad de ecos que necesitan ser filtrados y tratados convenientemente para determinar el fondo o el objeto a detectar.

Los filtros aplicables son de amplitud de la señal recibida; de límites verticales y horizontales y de rango alrededor del transductor; y continuidad transversal y longitudinal.

En las siguientes imágenes se observa cómo con los filtros de límites y continuidad transversal se resuelve mayoritariamente la determinación del fondo real. Los algoritmos del programa de adquisición y procesado permiten eliminar “falsos” ecos, o de mala calidad tanto por distancia al transductor como por falta de continuidad lateral o longitudinal. Los puntos rojos son rechazados y los verdes aceptados

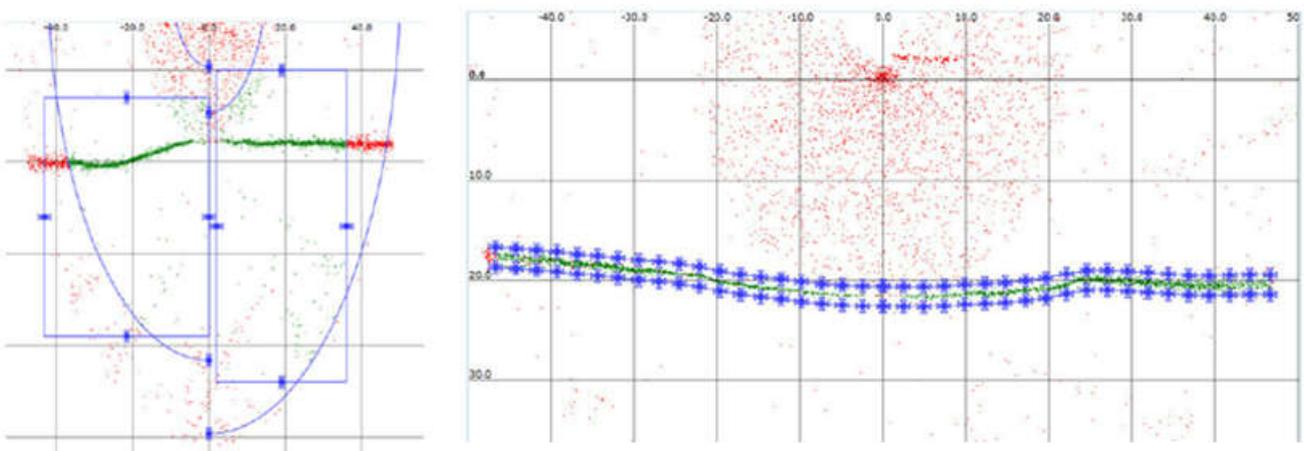


Figura 8. Filtros de datos brutos

Los problemas surgen en estructuras verticales o con pendientes muy fuertes en los que los algoritmos de aprendizaje y detección automática “pierden el fondo”. En esos casos hay que ampliar la apertura de los límites y “ayudar” al programa a detectar el fondo real.

### *Altimetría. Nivel de la superficie. SAIH Ebro Mequinenza.*

Desde las primeras reuniones técnicas con la dirección de los trabajos y su asesoría científica, se planteó el problema de la referencia altimétrica de los trabajos, adoptándose como criterio general el considerar el nivel de referencia del embalse y el del registrador del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) en la presa de Mequinenza, estableciendo que la lámina del agua embalsada se adaptaba al Geoide y que se daba como válida como superficie de referencia. Se adjunta en el anejo 2 una tabla de niveles de embalse durante los periodos de batimetría.

La cota de embalse se obtiene por tanto de la estación E003, señal E003M17NEMBA, del SAIH de la CHE, previa comprobación de su exactitud. Esta señal tiene precisión centimétrica y transmite datos cada 15 minutos. La cota de nivel máximo normal de embalse es 121,00 m.

<http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/ficha/estacion:E003>



Figura 9. SAIH Ebro

Subsistían dudas sobre la validez del nivel de referencia de la presa para un embalse de más de 100 km de longitud, y en particular en su cola más extrema por el efecto de los caudales

entrantes, así como la traslación a toda la lámina de los incrementos repentinos de nivel por caudales elevados.

Para los efectos de incrementos repentinos se podía atendía a las señales aportadas por el resto de estaciones del sistema y en particular las estaciones de aforo del eje del Ebro aguas arriba del embalse: A011 Ebro en Zaragoza, A263 Ebro en Gelsa

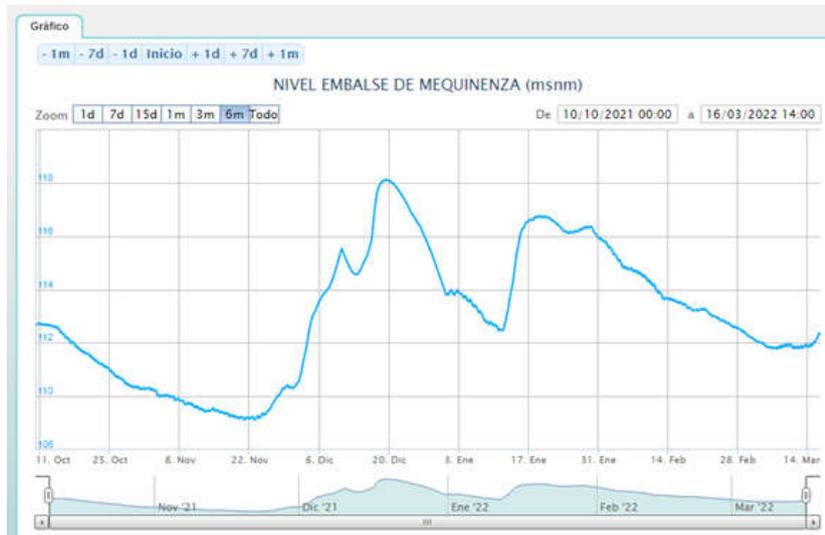


Figura 10. Aforo Gelsa

En los meses anteriores a la campaña aparecen dos procesos de gran entrada de agua, pero el nivel de embalse en circunstancias normales experimenta una variación media de 10 cm cada 24h, lo que supondrá 4/5 cm en la jornada de trabajo. En situaciones de caudales de avenida las variaciones son de hasta 75 cm diarios. Por ello, como precaución inicial se decidió no trabajar si estas variaciones superaban los 20 cm/día, y en la práctica solo se ha trabajado con variaciones medias de 10 cm/día.

No obstante, para una mayor seguridad, como se detalla en el Anejo 2.2, en colaboración con el Instituto Flumen de la Universidad Politécnica de Cataluña, se instalaron dos sensores de nivel en la cola del embalse para verificar la influencia de los caudales entrantes sobre la variación de los niveles del embalse y posibles discordancias con la referencia en la presa. Como resultado no se apreciaron diferencias reseñables en el periodo de estudio (Figuras 11 y 12), confirmando la validez de usar el nivel de referencia de la superficie de embalse en la presa para toda la lámina de agua.

PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA



Figura 11. Ubicación sensores de nivel

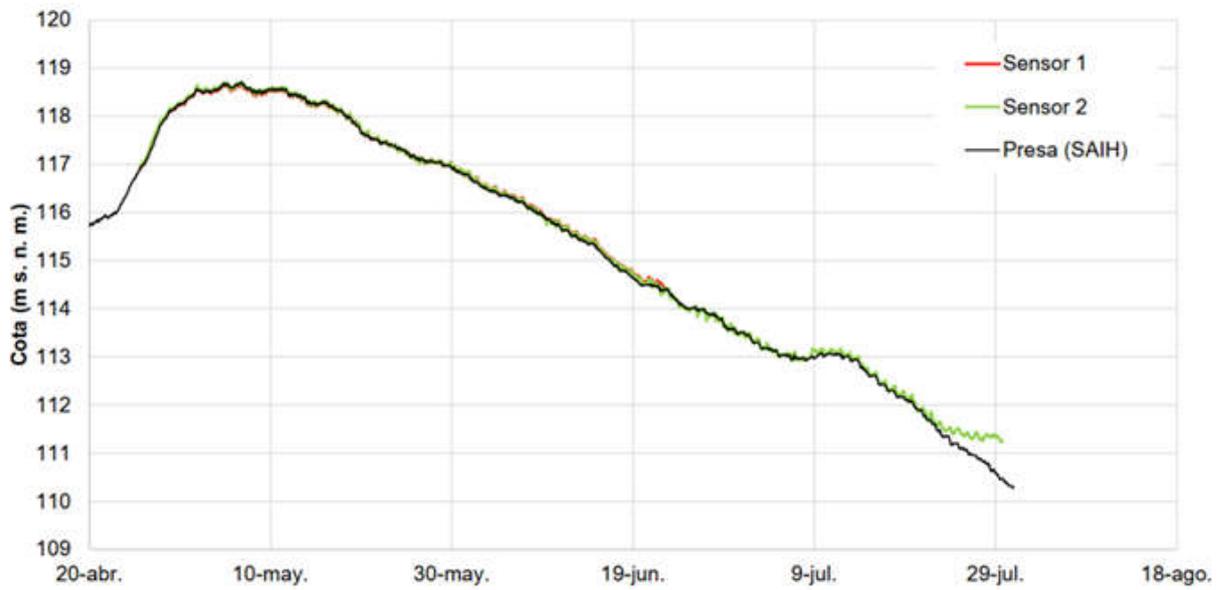


Figura 5. Cota del embalse de Mequinenza en la presa (fuente: SAIH) y cotas obtenidas en la zona de cola (sensor 1 y sensor 2).

Figura 12. Comparativo Cotas Presa Mequinenza y sensores

#### 4.1.5 Desarrollo de los trabajos de campo.

##### 4.1.5.1 Campañas batimétricas

Las campañas batimétricas realizadas se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2. Campañas realizadas.**

Campaña	Fechas	Nivel medio embalse (metros)
<b>01</b>	04//04 - 07/04	114,7
<b>02</b>	25/04	116,7 Cancelada
<b>03</b>	09/05 – 21/07	118,5
<b>04</b>	23/05 – 26/05	117,1
<b>05</b>	20/06 – 23/06	114,3
<b>08</b>	19/07 -21-07	111,8
<b>09</b>	24/07 – 29/07	110,9
<b>10</b>	15/08-18/08	107,4

Las campañas cuya numeración no aparece (6, 7, 11, 12, 13, 14 y 15) se refieren a retiradas de muestras de los embalses de Ribarroja y Mequinenza, mientras que la 2 fue cancelada porque no se cumplían las condiciones iniciales de una variación de nivel de embalse inferior a 20 cm/día. En esta campaña 2 se instalaron los sensores de presión.

Las raampas de botadura y varada finalmente utilizadas fueron: Rampa junto a instalaciones de bombeo de la Elevación de Aguas a Andorra en Playas del Sol, Club náutico de Caspe, Camping Lake y Presa Mequinenza (Playeta).

La zonificación que finalmente se realizó y que está recogida en las bases de datos de trabajo en el programa GS4, son:

- Zona 1: Escatron-Chiprana
- Zona 2: Chiprana-Caspe-Punto intermedio 1
- Zona 3: Punto intermedio-Isla mediana-Camping Lake-Punto intermedio 2
- Zona 4: Punto intermedio 2-La Playeta

Las Zonas 3 y 4 se registran en la misma base de datos

##### *Zona 1: Escatron-Chiprana*

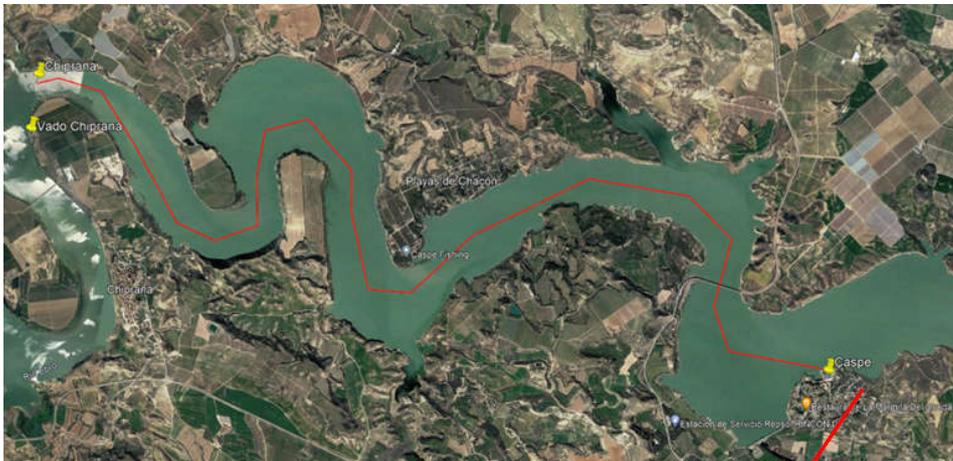
La siguiente imagen muestra la Playa del Sol: 732302 E - 4574475 N, a 17,5 Km hasta el Azud. Correspondiente al Tramos 47 a 52 y a 13,2 Km hasta Chiprana,,: 739882 m E – 4573845 N de los tramos 41 a 47

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



Figura 13. Zona 1 Escatrón-Chiprana.

Zona 2: Chiprana-Caspe-Punto intermedio 1



Caspe: 747146 E - 4570916 N

11,8 Km hasta Chiprana.

Tramos 34 a 41

15.3 Km hasta mitad camino al camping

Tramos 26 a 33



Figura 14. Zona 2: Chiprana-Caspe-Punto intermedio 1.

*Zona 3: Punto intermedio-Isla mediana-Camping Lake-Punto intermedio 2*

Camping Lake Caspe: 756399 E- 456108 N

8,6 Km Hasta el punto intermedio hacia Caspe. 14,4 rodeando la Isla Mediana

Tramos: 21 a 26

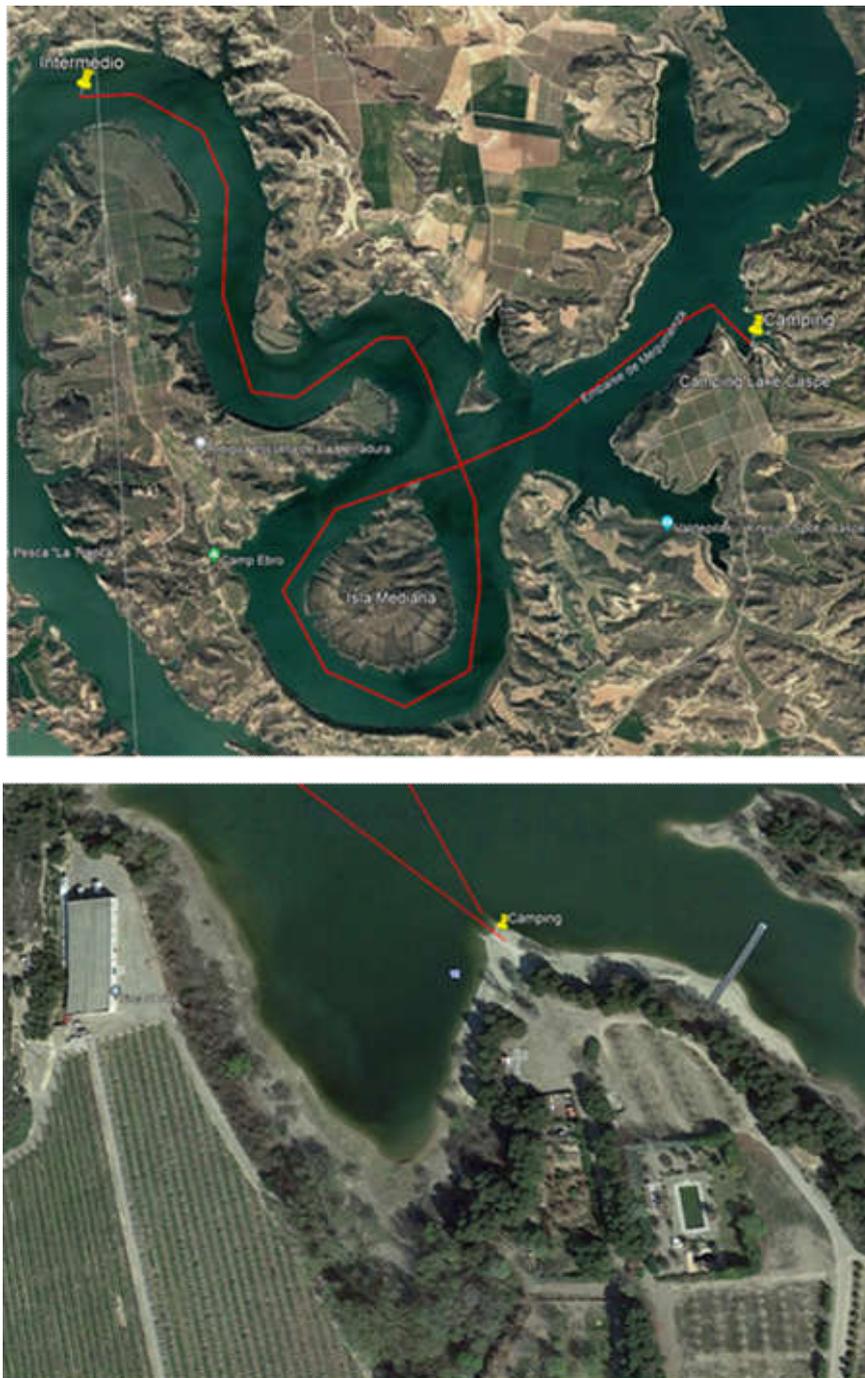


Figura 15. Zona 3: Punto intermedio-Isla mediana-Camping Lake-Punto intermedio 2

*Zona 4: Punto intermedio 2-La Playeta*

**Punto intermedio: 762762 E – 4587199 N**

21.5 Km desde el camping hasta punto intermedio, resulta un tramo largo pero las instalaciones del camping resultan mucho más adecuadas que las de la rampa de la Playeta.

Tramos 09 a 21

**Rampa presa mequinenza (La playeta) : 773420 E- 4584670 N**

13,9 Km Hasta el punto intermedio aguas arriba. Desde este punto se sondan dos brazos largos correspondientes al arroyo de Valcuerna y el barranco de la Liberola

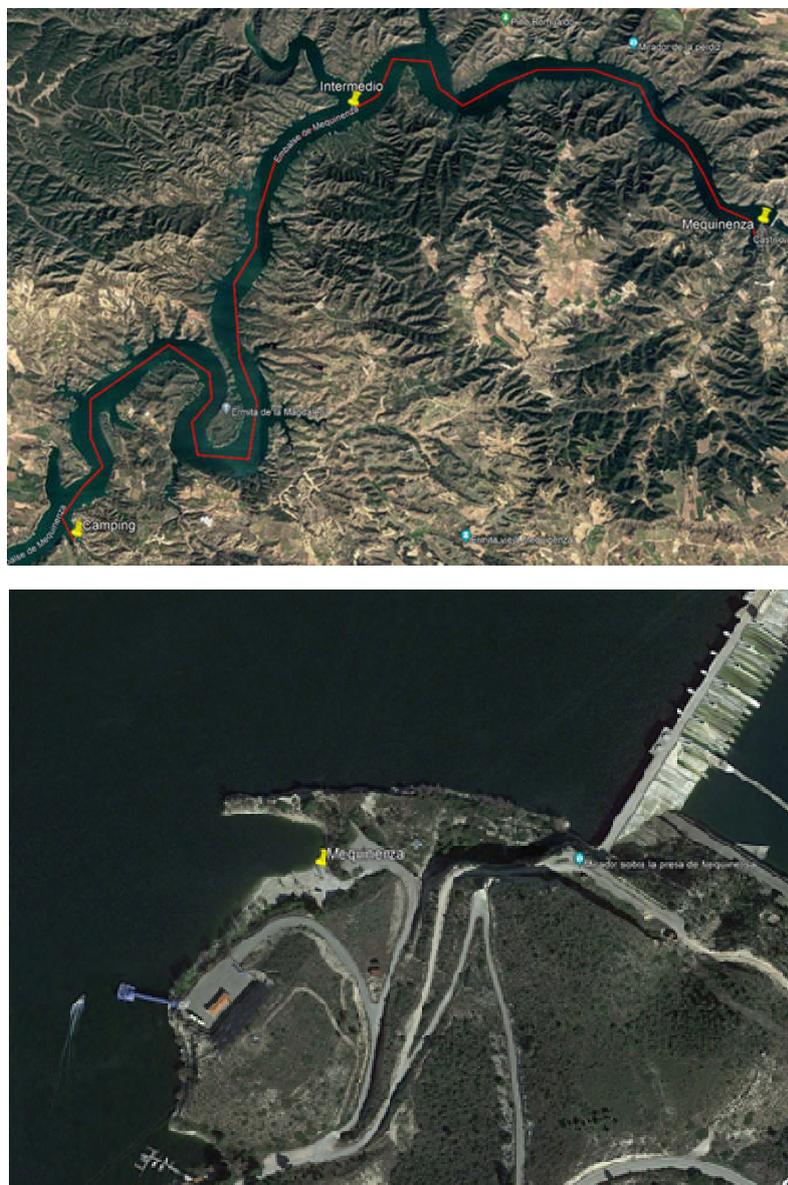


Figura 16. Zona 4: Punto intermedio 2-La Playeta

#### 4.1.5.2 Campañas LIDAR

Se realizó una planificación previa por tramos o franjas a lo largo del río; dichos tramos tienen un largo de 2 km. Para la determinación del ancho de franja se estimó una cota de lámina de agua para comienzo de los trabajos en junio de 2022 de 112 m hasta la cota de 109 m en septiembre de 2022 según el SAIH del Ebro.

Los trabajos de batimetría comenzaron un mes antes que los del vuelo al objeto de tener superposición entre ambas medidas, de forma que hubiera el solape suficiente entre ambas y que sirviera de contraste o comprobación de la nube de puntos superpuesta de ambos sistemas.

Los datos previos utilizados del Modelo Digital del Terreno (MDT) del embalse fueron los proporcionados por la CHE según la campaña de 1982 del CEDEX. Complementados con puntos descargados del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA).



Figura 17. Amarillo Cota 112. Magenta y verde referencias 122 m de MDT de 1982 y PNOA respectivamente

Se realizó un estudio de viales, puntos de despegue y aterrizaje viables para la aeronave utilizada, preferentemente al lado de caminos y puntos elevados y predominantes en el horizonte.

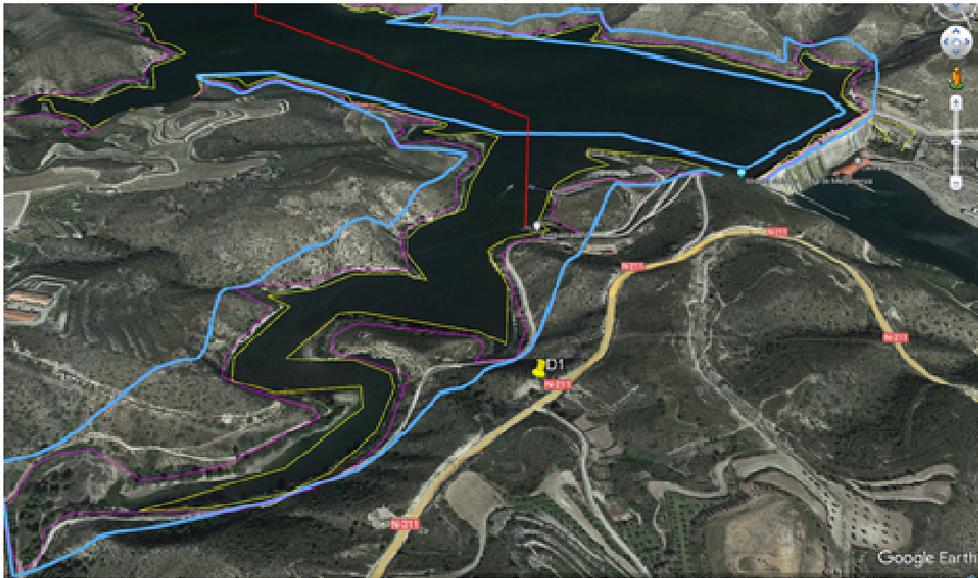


Figura 18. Imagen de línea de contorno de la zona de vuelo que cubre las cotas máximas y mínimas previstas para el tramo nº 1 desde la presa

También se realizó una descarga de un modelo de elevaciones altimétrico con el que planificar las altitudes de vuelo, de forma que estas fueran lo más paralelas al suelo; dicha información se obtuvo en el centro de descargas del IGN.

<http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp#>

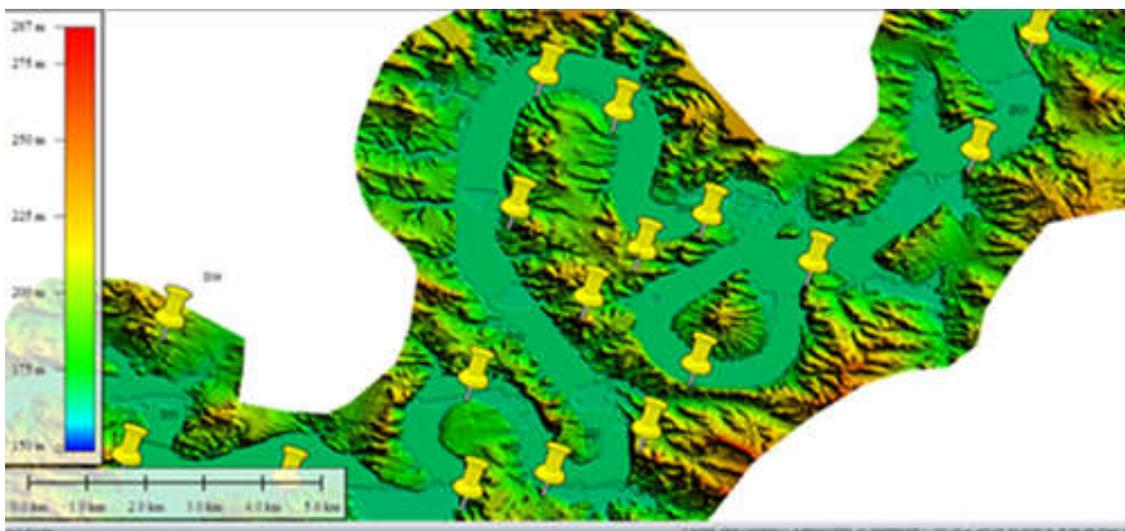


Figura 19. Puntos de despegue y aterrizaje sobre modelo de elevaciones WGS84 del IGN

#### 4.1.5.2.1 Apoyo LIDAR

El RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) DJI Matrice 300 RTK tiene un enlace RTK de correcciones diferenciales con una base colocada, DJI RTK2 en el punto de despegue, al que previamente se le ha dado coordenadas con el GPS de Trimble R8S y conexión NTRIP al IGN para el enlace geodésico. El equipo trabaja siempre con solución FIX (sin perder enlace con la base) y antes de iniciar los trabajos se espera 5 minutos a que el IMU (Inertial Measurement Unit) o sensor inercial de la cámara inicialice.

En cada punto de estación o despegue se colocan una o dos marcas, las cuales son medidas mediante el LIDAR para su contraste y obtención de discrepancias



Figura 20. Planta de puntos de apoyo y control.

En la tabla 3, se muestra el listado de los puntos de control de nivelación utilizados mediante GPS y la diferencia dada con el LIDAR. Aparte, se han ido comprobando diariamente los datos con el publicado del sensor de Mequinenza (SAIH Presa de Mequinenza) estando las variaciones dentro de la propia tolerancia del equipo.

PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA

Tabla 3. Puntos de control de nivelación. Diferencia cota GPS-LIDAR

TRAMO	Nombre	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Coord. Z (m) GPS	Coord. Z LIDAR	DIFERENCIA
1	48	773 580.80	4 584 382.47	192.12	192.04	0.07
2	54	771 471.88	4 587 483.27	174.94	174.81	0.13
3	55	770 802.30	4 588 437.85	192.55	192.44	0.12
7	52	764 848.22	4 587 183.93	161.63	161.52	0.11
7	53	763 623.41	4 591 587.50	239.67	239.60	0.07
8	49	762 336.64	4 589 049.75	233.65	233.56	0.09
8	51	764 276.14	4 588 203.42	135.87	135.76	0.11
10	50	761 686.44	4 585 858.80	144.83	144.75	0.08
12	47	761 262.09	4 583 136.23	155.56	155.52	0.04
14	46	761 579.77	4 580 648.38	177.65	177.53	0.12
15	45	758 660.76	4 579 181.42	145.17	145.08	0.09
18	43	757 747.99	4 579 863.81	127.52	127.40	0.12
19	42	757 925.87	4 578 071.23	198.97	198.93	0.04
20	44	756 512.60	4 576 839.05	141.73	141.65	0.08
22	73	755 421.74	4 575 308.75	163.93	163.83	0.10
24	72	751 945.49	4 575 420.15	172.96	172.83	0.13
26	70	751 050.58	4 577 541.64	148.22	148.18	0.04
26	71	751 131.64	4 577 468.80	147.64	147.52	0.12
28	69	750 635.09	4 575 912.21	139.76	139.74	0.02
29	68	752 093.78	4 573 290.13	154.38	154.28	0.10
30	67	751 593.19	4 570 918.29	138.22	138.22	0.00
31	66	750 077.88	4 572 651.47	121.66	121.59	0.07
32	65	750 333.79	4 570 966.76	155.16	155.05	0.10
33	64	746 928.39	4 570 919.55	128.05	128.03	0.03
35	38	740 338.98	4 573 057.81	136.06	135.91	0.15
35	62	746 161.92	4 573 082.67	136.58	136.51	0.07
37	63	743 488.90	4 570 657.58	153.71	153.58	0.13
38	39	742 490.99	4 573 031.59	129.04	128.94	0.10
38	40	742 470.32	4 573 032.65	131.00	130.83	0.17
38	41	742 517.02	4 573 029.80	124.57	124.46	0.11
38	61	743 520.99	4 573 448.74	173.39	173.24	0.15
39	37	740 339.24	4 573 091.68	136.24	136.16	0.08
40	27	739 430.58	4 571 079.53	129.70	129.70	0.00
40	28	739 422.01	4 571 088.16	130.43	130.15	0.28
41	33	740 509.29	4 572 325.77	144.67	145.01	-0.34
41	34	740 533.20	4 572 290.55	144.44	144.65	-0.21
41	35	739 828.83	4 573 412.94	124.55	124.60	-0.05
41	36	739 843.53	4 573 384.33	125.22	125.32	-0.10
43	29	737 692.33	4 572 516.38	128.46	128.32	0.14
43	30	737 709.63	4 572 465.47	122.56	122.35	0.21
44	31	737 106.18	4 574 085.65	126.77	126.80	-0.03
44	32	737 078.65	4 574 108.41	126.48	126.45	0.02
45	25	735 240.60	4 575 123.89	126.16	126.19	-0.04
45	26	735 265.42	4 575 134.32	123.56	123.59	-0.03
47	19	732 600.81	4 575 628.10	125.75	125.76	-0.01
47	20	732 605.91	4 575 669.34	122.90	122.85	0.05
47	21	733 700.14	4 573 943.98	141.27	141.41	-0.13
47	22	733 685.93	4 573 982.57	137.77	137.77	0.00
47	23	733 605.14	4 574 122.53	139.11	139.21	-0.10
47	24	733 229.57	4 573 900.34	152.42	152.36	0.06
48	15	728 421.58	4 572 697.60	128.64	128.63	0.01
48	16	728 433.00	4 572 679.07	127.05	127.09	-0.04
48	17	729 959.64	4 575 314.47	120.56	120.46	0.10
48	18	729 921.41	4 575 345.70	121.75	121.70	0.05
49	13	727 180.54	4 572 500.11	166.32	166.23	0.09
49	14	727 173.97	4 572 534.53	165.43	165.43	0.00
50	11	726 985.45	4 574 922.90	133.87	133.96	-0.08
50	12	727 000.57	4 574 941.90	133.64	133.68	-0.05
51	4	727 217.86	4 575 968.85	139.06	139.10	-0.04
51	5	727 208.89	4 575 979.00	138.79	138.65	0.14
51	6	727 237.14	4 576 004.10	136.25	136.11	0.14
51	7	726 835.84	4 574 688.54	137.63	137.49	0.14
51	8	726 825.00	4 574 667.31	137.09	136.92	0.17
51	9	727 104.15	4 576 043.13	134.75	134.77	-0.02
51	10	727 121.77	4 576 048.64	134.80	134.76	0.03
52	1	724 350.79	4 574 896.24	121.67	121.51	0.16
52	2	724 600.51	4 574 736.79	124.51	124.37	0.14
52	3	725 791.26	4 574 198.80	145.26	145.11	0.15

#### 4.1.5.2 Vuelos y Condiciones Ambientales

Realizada la consulta a AESA (Agencia Estatal de Seguridad Aérea), esta no tenía restricciones de vuelo VLOS (“Visual Line of Sight”, que se refiere a aquellos vuelos que se realizan dentro del alcance visual del piloto), excepto en una zona de ZEPA según la página de ENAIRE-drones para las fechas de los trabajos.

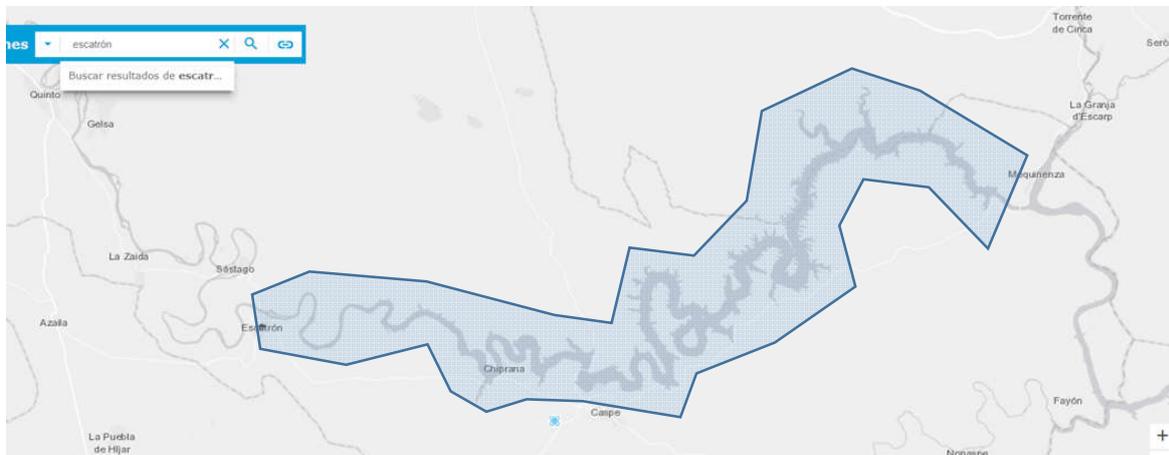


Figura 21. Imagen de la zona de vuelo asignada

Los trabajos se han realizado entre junio y septiembre de 2022 adaptándose a las condiciones climatológicas de no lluvias y vientos no superiores a 25 km/h.

Se ha de indicar también la existencia de dos incendios en Moncayo (Zaragoza) con 6.000 ha quemadas y en Bejís (Castellón) con 20.000 ha, que obligó a cancelar los trabajos por las continuas idas y venidas de hidroaviones de extinción sobre el embalse la última quincena de agosto.

Los trabajos debieron ser interrumpidos por las tardes por el continuo viento en la zona y en muchos casos superior a la tolerancia de vuelo del RPAS que es de 40 km/h.

Asimismo, una ola de calor de más de 40° a mediados de junio, implicó problemas al no cargar las baterías en campo ni con el aire acondicionado del coche arrancado y la avería del RPAS por exceso de temperatura que obligó a pasar por servicio técnico para un cambio de ventilador.

La altura máxima de vuelo ha sido de 120 m sobre el fondo del embalse siendo la altura media de 60-90 m, hasta cubrir como mínimo la superficie marcada por la cota de la coronación de la presa de 124 m y establecida en el pliego de prescripciones técnicas.

Las condiciones de vuelo han sido VLOS, solape longitudinal de 70% y 25% transversal; vuelos a 100 m de altura sobre el terreno, al mismo tiempo que se tomaban las imágenes RGB de 20 Mpx. De resolución, se realizaba la toma LIDAR (*Ligh Detection and Ranging*), a una velocidad de hasta 24.000 puntos por segundo con triple rebote y alcance de detección de 450 m.

El GSD (*Ground Sample Distance*, tamaño del pixel en el terreno) de las imágenes a esa altura es de 2,74 cm/px, lo cual permite colorear la nube de puntos en sus valores RGB reales y realizar un filtrado posterior con criterios de valor RGB.

Cada vez que el pulso de laser toca un objeto o superficie, este rebota y vuelve al dispositivo emisor registrando las coordenadas XYZ del punto exacto donde rebotó la luz. Los componentes del sistema LIDAR aerotransportado es según la siguiente imagen:

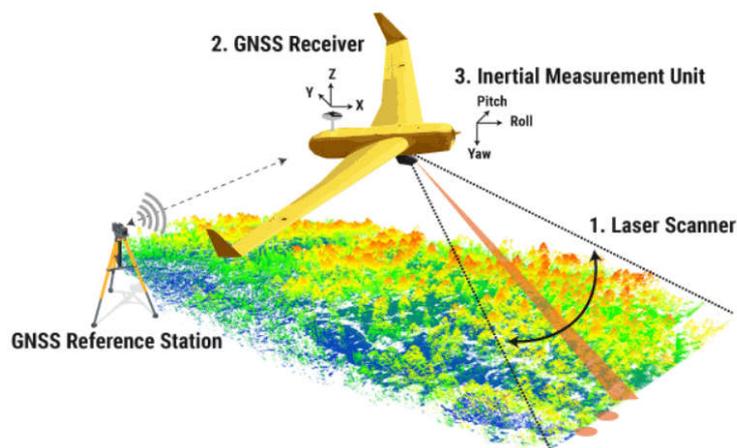


Figura 22. Esquema de funcionamiento LIDAR

El equipo dispone de un ordenador embarcado que registra los millones de puntos capturados por el LIDAR, junto con los datos del GPS y del sensor inercial IMU, que es lo que va a permitir conocer y ajustar la posición real en el espacio y representar grandes extensiones de terreno mediante puntos o retornos.

La medición se realizó con tres retornos por disparo de láser, lo que significa que esta frecuencia de puntos puede llegar hasta los 480.000 puntos por segundo en operaciones con dos o tres retornos.

Esta capacidad de retorno múltiple permite generar más fácilmente los datos de elevación en campo de bosques densos y extraer el DEM y DSM (modelos digitales de superficie y terreno). El uso de retornos múltiples permite elegir y clasificar los diferentes objetos en la nube de puntos como cables aéreos, vegetación alta, media, baja, altura de arbolado, etc.

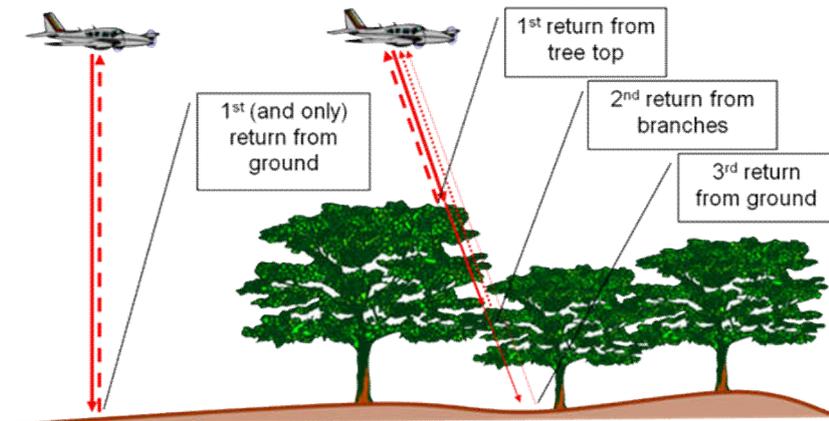


Figura 23. Esquema de retorno de pulso LIDAR

En función del tipo de margen del cauce se ha utilizado un tipo de escaneado lineal con al menos dos líneas de ida y vuelta o por un patrón en zigzag si la superficie es más cuadrada.

Todos los datos obtenidos a través de la plataforma aérea Matrice 300 RTK con la cámara LIDAR embarcada DJI L1, han sido tratados con el software de postratamiento DJI Terra, Global Mapper con su módulo LIDAR y TCP PointCloud Editor; con ello se incrementa la precisión del producto final, ya que la nube de puntos es filtrada, editada y se eliminan ruidos, artefactos u objetos que nada tienen que ver con la determinación de la superficie del suelo.

Finalmente se obtiene un MDT de la superficie de terreno con una cuadrícula de resolución de al menos 50x50 cm la cual es fusionada con los datos proporcionados por la batimetría.

La velocidad máxima de vuelo fue 10 m/s y tanto al inicio de los trabajos como al final, el RPAS hacía una calibración del sensor IMU.

En las programaciones de vuelo no se ha realizado más de 90 s de vuelo sin realizar un quiebro para mejorar la precisión del IMU



Figura 24. RPAS (Remotely Piloted Aircraft System) DJI Matrice 300 RTK

#### **4.1.6 Procesado de batimetría**

El procesado de las líneas de batimetría requiere en primer lugar asignarle a cada línea de levantamiento un perfil de velocidad de propagación del sonido en el agua, así como la cota de referencia de nivel de embalse. Se adjuntan en el Anexo 2 los perfiles de velocidad registrados con sus coordenadas así como la curva de cota de embalse.

Las líneas no suelen ser de más de una hora de registro y el procesado se realiza con el Software GeoSwath GS4 que permite establecer filtros de amplitud, límites, y de continuidad transversal y longitudinal de manera que limpia ruidos y falsos ecos y realiza una primera interpolación de esos puntos resultantes para cada línea de navegación y para cada tramo en una malla de 0,5x0,5m.

Se describe la aplicación de los filtros en el punto 3.1.4. Filtrados.

La envergadura del trabajo en extensión y densidad de puntos hizo conveniente dividir, como ya se ha indicado en puntos anteriores, también en tramos para el procesado. Una vez limpiadas las líneas de navegación y sondaje se montan sobre una malla de 0,5x0,5 m ayudados por un plano previo de itinerarios.

Ese mallado inicial puede tener zonas de discontinuidad o falta de datos que necesitarán ser de nuevo filtradas y suavizadas. Las zonas extremas de los haces siempre muestran una mayor dispersión, así como el Nadir (zona bajo los transductores, perpendicular bajo la quilla) de navegación que también suele ser conflictivo.

Utilizando el programa Qinsy 8 se suavizan los solapes y las zonas de interferencias no filtradas.

#### **4.1.7 Procesado de LIDAR**

Gran parte de la traza del embalse presenta una arboleda muy densa y con alturas de hasta 25m; se ha procedido al filtrado de la misma y clasificación de la nube de puntos al objeto de tener un terreno natural lo más fiable posible; así mismo se ha reducido la densidad de puntos a 20 cm de cuadrícula para poder manejar la densa información.

Se hace entrega de información de MDT con cuadrícula de 50x50 cm y nube LAS. El formato LAS es un archivo binario que mantiene toda la información procedente del sistema LIDAR y conserva la misma según la propia naturaleza de los datos y del sistema de captura. Estos forman parte de los datos brutos entregados con los anejos.

Para la obtención del MDT se hace uso del filtrado de los 3 rebotes de señal para una mejor determinación de terreno.

PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA

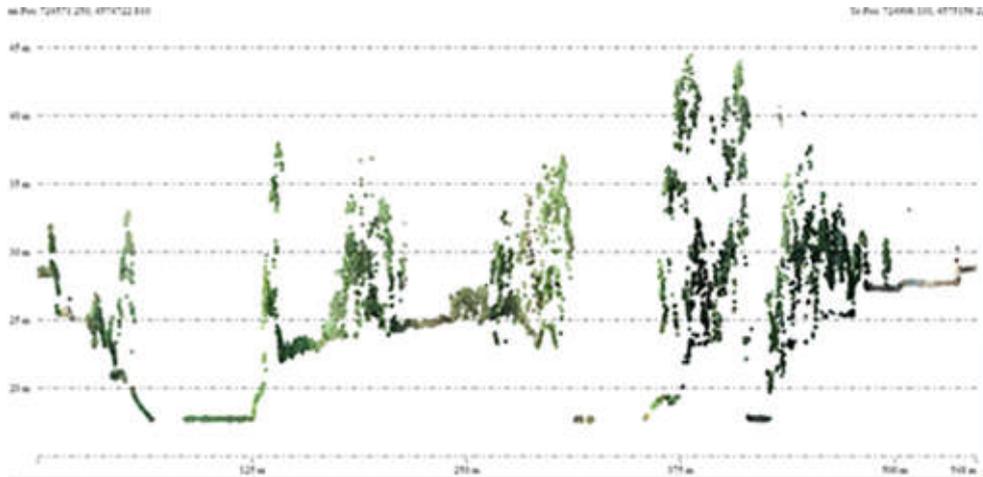


Figura 25. Sección en cola de embalse con vegetación y arboleda

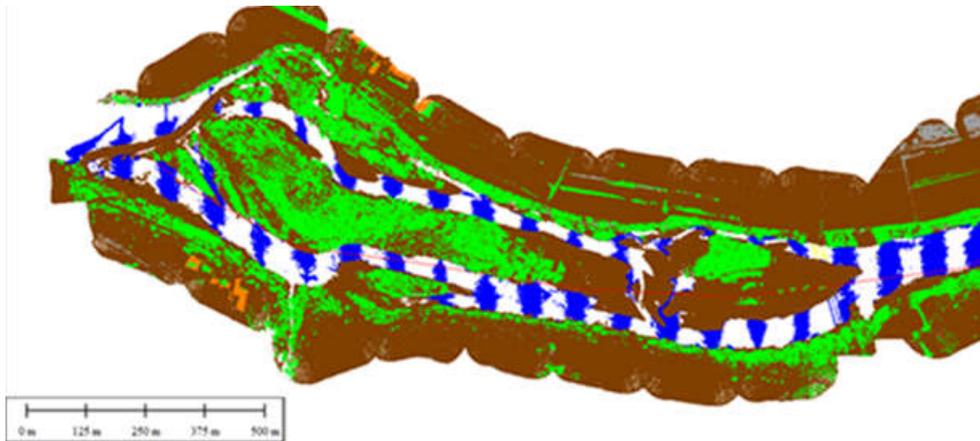


Figura 26. Escatrón Azud de Rueda. Nube de puntos clasificada. Marrón: suelo; verde: arboleda; naranja: construcción; azul/blanco: agua; gris: sin clasificar.

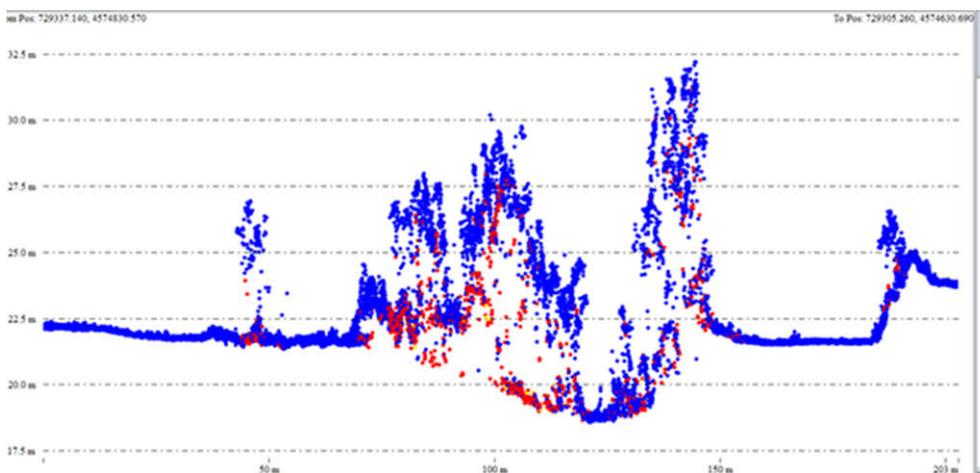


Figura 27. Vista de rebotes en un perfil. Azul: único rebote o primero, amarillo: segundo rebote de tres, rojo: tercer o último rebote de dos

Para la obtención de MDT se hace uso del filtrado de los 3 rebotes de señal para una mejor determinación de terreno.

La clasificación se realiza introduciendo condicionantes sobre la selección de puntos de una muestra con uno o varios factores de selección, como por ejemplo:

Valores RGB: seleccionar colores de elementos característicos como verde para identificar vegetación, azul para agua, marrón para terreno, etc.

Pendiente del terreno: en un tramo llano un salto o una pendiente de  $>50^\circ$  puede suponer vegetación, edificación, vehículos.

Altura sobre el suelo: para filtrar líneas aéreas, edificaciones.

Número de rebotes: rebotes únicos o aislados o último rebote de varios; un rebote único supone que no existe vegetación debajo, varios rebotes supone diferentes alturas de rebotes por lo que puedes seleccionar el último para el suelo y el primero para la copa de los árboles, etc.

La clasificación y filtrado es un trabajo meticuloso, lento y aunque los automatismos en la selección de puntos sobre el terreno, vegetación y edificación han evolucionado en los últimos años sigue siendo un trabajo de mucha dedicación del operador, ya que en muchas ocasiones toca revisar lo que se ha realizado de forma automática o cambiar los criterios por zonas; este proceso lo hemos realizado con TCP Poincloud Editor V. 2 y Global Mapper V.22

#### **4.1.8 Resultados y validación**

La integración de ambos procesos ha conducido a la obtención de un MDT 0,5 x 0,5 m del vaso del embalse hasta la cota de coronación, 124 m.s.n.m, o superior. El resultado final se muestra en el Anejo 3, que incluye el mapa digital raster y el vectorial de las curvas de nivel cada 0,5 m obtenido a partir del anterior.

Para el control de calidad de la correcta ejecución y validación de los resultados, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha contado con la colaboración del Instituto Flumen de la Universidad Politécnica de Cataluña. Fruto del mismo se han producido mejoras y correcciones en la ejecución que han abarcado aspectos como:

- Mejoras en la integración de batimetría y LIDAR en las líneas de contacto
- Mejoras en el procesado de información reduciendo las incertidumbres asociadas a la técnica, especialmente en el borde de las líneas de navegación
- Corrección de problemas de solape entre tramos y mejora de la interpolación entre puntos.
- Corrección de errores de procesado en los tramos 31-40. Con los tramos 31-40 comenzaron los trabajos de campo de batimetría. La primera evaluación de los resultados de la primera campaña de campo produjo la realización de mejoras que se

incorporaron al resto de tramos. Finalmente se realizó un reprocesamiento completo de dichos tramos.

En el anejo 2 se incluye el informe final emitido por el Instituto Flumen, el cual llevó al reprocesamiento de los tramos 31-40, y la nota complementaria redactada con posterioridad al mismo.

Todas estas correcciones han posibilitado a una depuración y mejora del MDT hasta llegar al resultado final. La cubicación con la cota 121,15 de los diferentes MDT elaborados en este proceso ha sido la siguiente:

**Tabla 4. Cubicaciones en diferentes versiones de MDT.**

<b>VERSIONES MDT – Cota 121,15 m</b>	<b>Cubicaciones</b>
<b>MDT primera versión 1.387,39 hm<sup>3</sup></b>	1.387,39 hm <sup>3</sup>
<b>MDT segunda versión (correcciones solapes, interpolaciones)</b>	1.382,22 hm <sup>3</sup>
<b>MDT resultado final (reprocesamiento tramos 31-40)</b>	1.383,38 hm <sup>3</sup>

En diciembre de 2022, una vez finalizado el primer procesado de la información y obtenida la primera versión del MDT, y aprovechando el bajo nivel de embalse, se tomaron 271 cotas de comprobación en el sedimento emergido en 12 tramos, revelando una diferencia media de 0,00 m, equilibrando los errores, y absoluta media de 0,11 m. El detalle del análisis se recoge en el informe del Instituto Flumen ya citado.

Los 68 puntos de control del vuelo LIDAR, citados también más arriba, en los que al mismo tiempo se toma cota con GPS de precisión, arrojaron una diferencia media de 0,055 m, y absoluta media de 0,092 m.

Un error de 10 cm en toda la superficie del embalse equivaldría a 7,5 hm<sup>3</sup>, aproximadamente el 0,5 % del volumen total, que podría considerarse el nivel máximo de orden de magnitud de la incertidumbre.

Aparte, durante el verano de 2023, con motivo de la extrema sequía, se utilizó la nueva batimetría para identificar la posible formación de lagunas desconectadas del cauce principal que pudieran dar lugar a mortandades de peces en la zona de La Herradura (Isla Mediana), verificándose una correcta coherencia entre las áreas identificadas en la batimetría y la realidad.

## 4.2 ANÁLISIS BATIMÉTRICO Y TOPOGRÁFICO

### 4.2.1 Modelo digital del terreno (MDT)

Realizado todo el proceso referido en el apartado anterior se obtuvo un modelo digital del terreno (MDT) 0,5 x 0,5 m de todo el vaso del embalse, obteniendo también del mismo las curvas de nivel con equidistancia de 0,5 m, y que se recogen en el anejo 3.

Como se ha dicho, para mantener una coherencia comparativa con la topografía inicial de 1961 del proyecto ENHER y, en particular, con la batimetría de 1982 del CEDEX, se han mantenido los 51 tramos de las batimetrías del CEDEX y usados también en la Nota Técnica del mismo CEDEX de 2020.

Se añade un tramo 52 para la cubicación de la zona de rio-embalse que llegaría hasta el Azud del monasterio de Rueda, no incluido en batimetrías anteriores.

Se han definido 8 subtramos para completar los brazos más anchos e importantes y la hoz de la Isla Mediana (La Herradura).

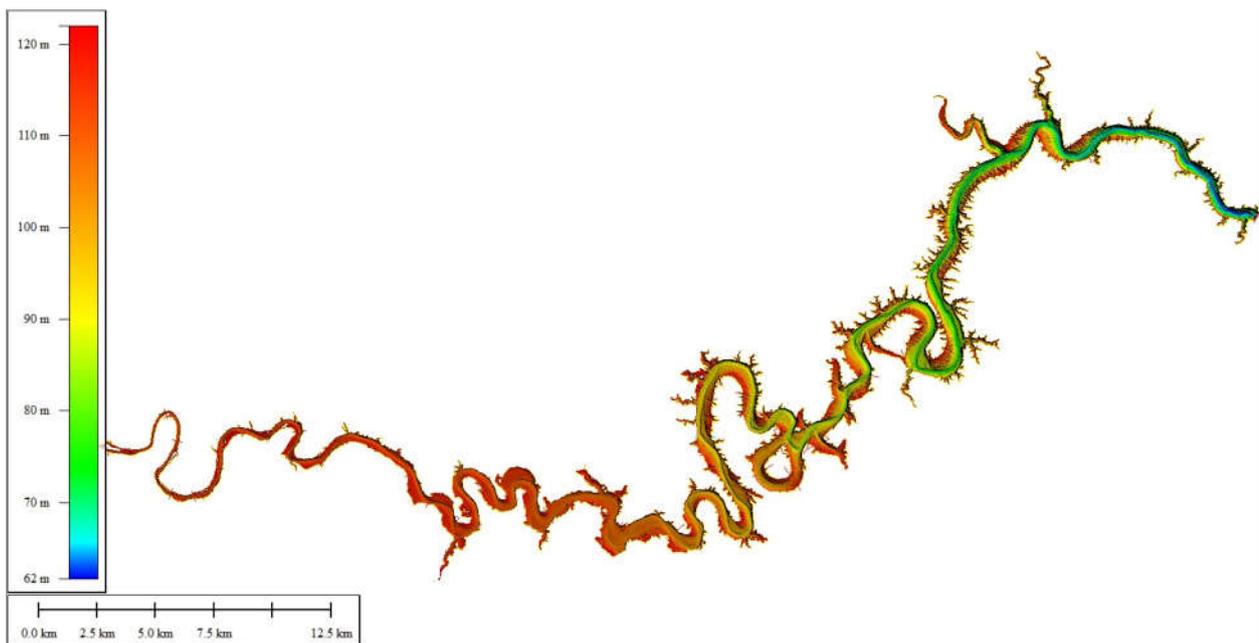


Figura 28. Modelo digital batimétrico y topográfico.

### 4.2.2 Cálculo de Volúmenes

Los volúmenes se han calculado con el programa Global Mapper V21, por tramos. Se ha cargado el MDT de 0,5 x 0,5 m de cada uno a la cota 122 m y se ha generado un MDT de la curva de nivel correspondiente a la cota de máximo embalse (121,15) con un mallado de 0,5 x 0,5 m y se han comparado ambas superficies, multiplicando la diferencia de cota en cada celda

por la superficie de la misma (0,25 m<sup>2</sup>). Ese cálculo se ha hecho doblemente: por tramos y sobre el modelo digital del embalse completo, cada metro, como comprobación de la curva de embalse y dando resultados iguales salvo el segundo decimal.

Como decimos, el nivel de máximo embalse se ha establecido en la cota 121,15 m, que es el utilizado por el CEDEX en las batimetrías previas y se ha mantenido para garantizar una adecuada comparabilidad. No obstante, el Inventario de Presas y Embalses, así como la explotación actual, fija la cota de Nivel Máximo Normal de embalse en la cota 121,00 m.

La capacidad teórica actual del embalse, también recogida en el Inventario de Presas y Embalses a la cota de Nivel Máximo Normal de 121,00 m es de 1.534 hm<sup>3</sup>, que es la contemplada en el proyecto original, y una superficie de embalse de 7.540 ha.

Conforme la nueva batimetría realizada (batimetría 2022), la cubicación de volúmenes de agua por tramos hasta la cota de máximo embalse 121,15 m y su agregación final arroja un resultado de 1.383,38 hm<sup>3</sup>. A la cota 121,00 el volumen resulta ser de 1.372,67.

La curva de volúmenes y superficies del embalse se muestra en el anejo 2.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

**Tabla 5. Tabla de cálculo de volumen de agua acumulada por tramo.**

	Longitud del tramo (m)	Distancia acumulada a la presa (Km)	Volumen de agua del tramo 2022 (Hm3)	Volumen de agua acumulada a la presa 2022 (Hm3)
Tramo 1	2 251.31	2.25	54.77	54.77
Tramo 2	1 857.72	4.11	43.12	97.89
Tramo 3	1 455.00	5.56	35.25	133.13
Tramo 4	1 750.48	7.31	37.93	171.06
Tramo 5	2 153.91	9.47	52.07	223.13
Tramo 6	1 159.15	10.63	27.19	250.32
Tramo 7	2 154.14	12.78	52.13	302.44
Subtramo 7A	3 339.03		13.72	316.17
Tramo 8	2 101.45	14.88	50.06	366.23
Subtramo 8A	4 009.66		27.71	393.93
Tramo 9	1 531.18	16.41	33.93	427.86
Tramo 10	1 479.17	17.89	35.05	462.92
Tramo 11	1 137.87	19.03	30.75	493.67
Tramo 12	1 828.36	20.86	43.55	537.22
Tramo 13	2 120.44	22.98	49.11	586.34
Tramo 14	3 922.63	26.90	92.93	679.26
Tramo 15/16	2 456.86	29.36	54.99	734.25
Tramo 17	2 678.23	32.04	43.24	777.49
Tramo 18	1 641.35	33.68	33.35	810.84
Subtramo 18A	911.07		2.21	813.05
Tramo 19	1 659.47	35.34	29.44	842.49
Tramo 20	1 714.10	37.05	25.54	868.03
Subtramo 20A	1 198.00		5.38	873.41
Tramo 21	1 827.12	38.88	27.32	900.73
Tramo 22	504.41	39.38	9.18	909.92
Subtramo 22A	1 252.42		5.04	914.96
Tramo 23	2 320.64	41.70	35.45	950.41
Subtramo 23A	1 657.54		16.15	966.56
Subtramo 23B	1 774.55		13.82	980.38
Subtramo 23C	1 235.50		8.53	988.91
Tramo 24	3 024.48	44.73	33.36	1022.26
Tramo 25	834.20	45.56	10.21	1032.48
Tramo 26	3 129.93	48.69	40.55	1073.03
Tramo 27	889.71	49.58	13.20	1086.23
Tramo 28	2 487.05	52.07	30.88	1117.12
Tramo 29	3 790.85	55.86	40.28	1157.39
Tramo 30	3 300.35	59.16	29.93	1187.33
Tramo 31	2 227.86	61.39	17.11	1204.44
Tramo 32	2 021.53	63.41	15.79	1220.23
Tramo 33	2 582.55	65.99	22.35	1242.57
Tramo 34	2 308.18	68.30	17.97	1260.54
Tramo 35	1 334.15	69.64	10.24	1270.78
Tramo 36	2 574.30	72.21	13.21	1283.99
Tramo 37	2 562.69	74.77	12.52	1296.50
Tramo 38	1 814.13	76.59	11.89	1308.40
Tramo 39	2 518.03	79.10	8.77	1317.16
Tramo 40	1 054.19	80.16	3.07	1320.23
Tramo 41	2 800.80	82.96	8.40	1328.63
Tramo 42	3 458.04	86.42	12.68	1341.31
Tramo 43	1 430.42	87.85	4.23	1345.54
Tramo 44	1 931.25	89.78	5.18	1350.72
Tramo 45	1 487.49	91.27	3.69	1354.41
Tramo 46	1 559.81	92.83	3.40	1357.80
Tramo 47	2 702.24	95.53	5.46	1363.26
Tramo 48	7 195.45	102.72	11.35	1374.60
Tramo 49	1 044.68	103.77	1.51	1376.12
Tramo 50	2 766.52	106.54	3.01	1379.12
Tramo 51	1 571.57	108.11	1.34	1380.46
Tramo 52	3 884.28	111.99	2.92	1383.38
	<b>127 369.49</b>	<b>111.99</b>	<b>1383.38</b>	

### 4.2.3 Comparación con batimetrías previas.

Como se recoge en el pliego de prescripciones técnicas, se dispone de dos batimetrías completas digitalizadas y vectorizadas del embalse de Mequinenza, la primera de 1961, la topografía original, la segunda de 1982, otra parcial de la cola de embalse de 2012. Además existe una batimetría adicional de 1970.

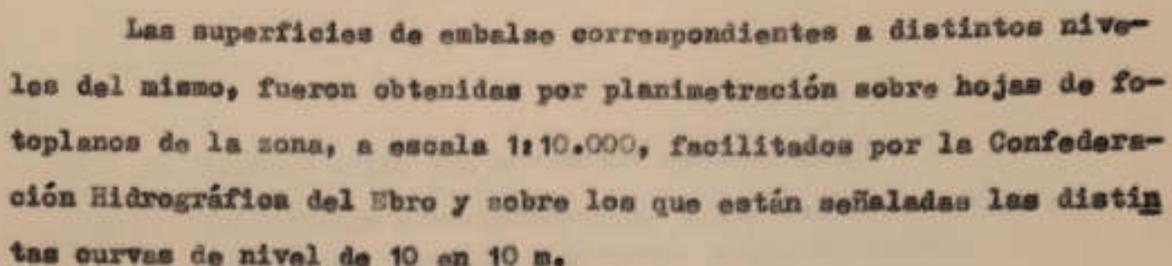
Estas batimetrías han sido facilitadas por el CEDEX y los trabajos que las explican se citan en el apartado 2, antecedentes, de esta Memoria.

Lo primero que debe apuntarse es que no es posible una comparación absoluta, por cuanto que las metodologías empleadas en los trabajos anteriores utilizan técnicas que no tienen la precisión de la batimetría multihaz y el vuelo LIDAR que se ha empleado en el presente trabajo.

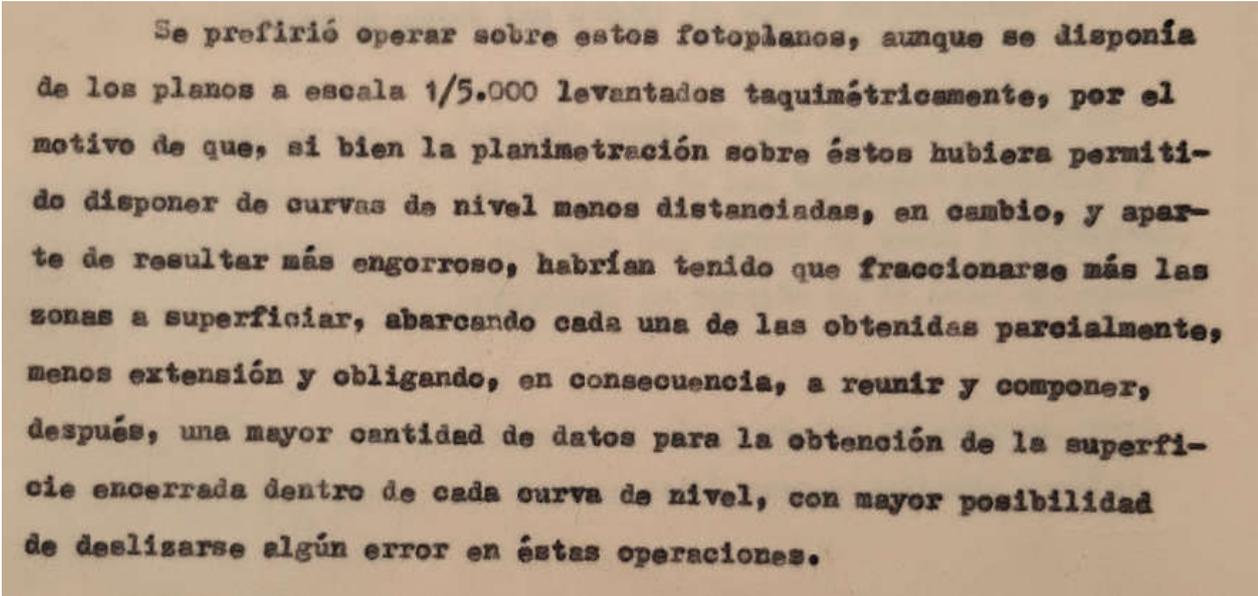
El cálculo de la capacidad inicial de embalse se corresponde a la topografía realizada en 1961 a escala 1:5000 de toda la zona del embalse apoyado en una triangulación general realizada por el Instituto Geográfico Nacional. Esa topografía se escaneó y vectorizó en 2012 parcialmente y en 2020 se completó y se podría considerar la situación inicial de puesta en servicio del embalse en 1966.

Como arriba se indica, esta meritoria digitalización tiene dos limitaciones: la digitalización automática de Control de Obra Civil para la CHE registra líneas que no son curvas de nivel, mientras que la digitalización del CEDEX, más cuidadosa y fiable, solo digitaliza las curvas de nivel principales. Por otra parte, en el solape entre ambas se aprecia una ligera desviación.

La cubicación realizada de esta digitalización por el CEDEX arroja un resultado de 1479,76 hm<sup>3</sup> frente a los 1.534 hm<sup>3</sup> contemplados en el proyecto original de 1961. Cabe decir que la cubicación de volúmenes del proyecto de 1961 en realidad no utiliza la topografía realizada para el mismo con escala 1:5.000 y curvas de nivel cada 2 m, sino los fotoplanos de 1927, escala 1:10.000 de la Confederación Hidrográfica del Ebro, por ser, como se recoge en el propio proyecto, menos “engorroso” y con menor posibilidad de errores en las operaciones de composición. Se considera que las superficies sobre las curvas de nivel de 10 m de los fotoplanos suficientemente aproximado (figura 29).



Las superficies de embalse correspondientes a distintos niveles del mismo, fueron obtenidas por planimetración sobre hojas de fotoplanos de la zona, a escala 1:10.000, facilitados por la Confederación Hidrográfica del Ebro y sobre los que están señaladas las distintas curvas de nivel de 10 en 10 m.



Se prefirió operar sobre estos fotoplanos, aunque se disponía de los planos a escala 1/5.000 levantados taquimétricamente, por el motivo de que, si bien la planimetración sobre éstos hubiera permitido disponer de curvas de nivel menos distanciadas, en cambio, y aparte de resultar más engorroso, habrían tenido que fraccionarse más las zonas a superficializar, abarcando cada una de las obtenidas parcialmente, menos extensión y obligando, en consecuencia, a reunir y componer, después, una mayor cantidad de datos para la obtención de la superficie encerrada dentro de cada curva de nivel, con mayor posibilidad de deslizarse algún error en éstas operaciones.

Figura 29. Descripción de la cubicación en el proyecto de Mequenza de 1961.

Sobre el volumen inicial del embalse pesan, por tanto, las siguientes incertidumbres que en el momento presente no pueden solventarse, ni siquiera cuantificar:

- La precisión de la topografía original.
- La precisión de la digitalización y vectorización existente
- La precisión de la cubicación inicial

Son estos extremos sobre los que debería trabajarse en el futuro para reducir estas incertidumbres a partir de la documentación del proyecto.

Por otro lado, al comparar la batimetría de 2022 con la de 1982 se detectan discrepancias en zonas que no deberían haber registrado apenas movimientos respecto a 2022 que solo pueden explicarse por la diferencia de precisión por las técnicas disponibles en cada época. En el caso de 2012, solo se dispone de una topografía terrestre parcial, que analizada por el Instituto Flumen, refleja discordancias e imprecisiones.

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos. Como se ha dicho se utilizan los mismos tramos de batimetrías precedentes a efectos comparativos, habiéndose añadido un tramo 52 hasta el azud de Escatrón para cubrir todo el vaso, y que no fue contemplado en los casos anteriores.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

**Tabla 6. Comparativa volúmenes por tramos 1961, 1970, 1982, 2012 y 2022.**

	Distancia acumulada (Km)	Volumen del tramo (hm <sup>3</sup> ) 1961	Volumen del tramo (hm <sup>3</sup> ) 1970	Volumen del tramo (hm <sup>3</sup> ) 1982	Volumen del tramo (hm <sup>3</sup> ) 2012	Volumen del tramo (hm <sup>3</sup> ) 2022
Tramo 1	2.25	57.45	69.31	53.39		54.77
Tramo 2	4.11	44.35	38.08	42.57		43.12
Tramo 3	5.56	35.87	35.43	34.60		35.25
Tramo 4	7.31	38.67	33.93	37.59		37.93
Tramo 5	9.47	53.52	41.53	54.16		52.07
Tramo 6	10.63	27.93	21.86	27.34		27.19
Tramo 7	12.78	66.31	58.41	63.82		65.85
Tramo 8	14.88	80.51	87.78	76.33		77.76
Tramo 9	16.41	34.66	38.65	33.76		33.93
Tramo 10	17.89	35.02	39.07	34.89		35.05
Tramo 11	19.03	31.21	39.21	29.72		30.75
Tramo 12	20.86	44.22	56.07	42.40		43.55
Tramo 13	22.98	50.09	61.61	47.90		49.11
Tramo 14	26.90	96.60	100.24	91.81		92.93
Tramo 15/16	29.36	57.43	77.52	57.34		54.99
Tramo 17	32.04	43.50	65.15	42.27		43.24
Tramo 18	33.68	33.10	31.24	32.90		35.56
Tramo 19	35.34	30.43	42.08	28.94		29.44
Tramo 20	37.05	31.43	24.92	29.66		30.92
Tramo 21	38.88	28.40	31.64	27.44		27.32
Tramo 22	39.38	14.14	12.75	13.11		14.23
Tramo 23	41.70	75.68	79.79	70.85		73.95
Tramo 24	44.73	36.23	24.50	33.30		33.36
Tramo 25	45.56	11.26	16.99	9.70		10.21
Tramo 26	48.69	44.34	36.76	39.72		40.55
Tramo 27	49.58	14.29	14.89	12.84		13.20
Tramo 28	52.07	32.96	37.30	31.27		30.88
Tramo 29	55.86	44.55	36.75	40.84		40.28
Tramo 30	59.16	31.99	28.44	30.27	23.54	29.93
Tramo 31	61.39	19.32	22.66	18.66	13.79	17.11
Tramo 32	63.41	18.88	20.45	17.56	13.83	15.79
Tramo 33	65.99	27.98	28.40	25.15	20.19	22.35
Tramo 34	68.30	23.70	28.49	21.25	19.37	17.97
Tramo 35	69.64	15.87	11.42	12.20	10.29	10.24
Tramo 36	72.21	17.44	17.39	15.59	13.63	13.21
Tramo 37	74.77	17.41	20.32	15.35	11.89	12.52
Tramo 38	76.59	16.02	19.73	14.81	11.67	11.89
Tramo 39	79.10	12.22	10.62	10.64	8.19	8.77
Tramo 40	80.16	4.26	7.13	3.90	2.64	3.07
Tramo 41	82.96	12.74	12.83	10.55	7.67	8.40
Tramo 42	86.42	17.27	23.42	14.07	11.47	12.68
Tramo 43	87.85	5.61	7.36	4.89	3.71	4.23
Tramo 44	89.78	7.83	7.33	5.58	4.93	5.18
Tramo 45	91.27	5.03	5.33	4.16	3.33	3.69
Tramo 46	92.83	4.53	7.67	3.70	2.37	3.40
Tramo 47	95.53	6.67	3.90	5.50	4.53	5.46
Tramo 48	102.72	13.79	17.16	6.82	7.35	11.35
Tramo 49	103.77	2.10	4.40	2.10	1.06	1.51
Tramo 50	106.54	3.43	4.02	3.43	2.18	3.01
Tramo 51	108.11	1.22	2.99	1.22	1.18	1.34
Tramo 52	111.99					2.92
	<b>111.99</b>	<b>1479.46</b>	<b>1564.92</b>	<b>1387.86</b>		<b>1383.38</b>

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

**Tabla 7. Comparativa volúmenes acumulados por tramos 1961, 1970, 1982 y 2022**

	Distancia acumulada (Km)	Volumen acumulado (hm <sup>3</sup> ) 1961	Volumen acumulado (hm <sup>3</sup> ) 1970	Volumen acumulado (hm <sup>3</sup> ) 1982	Volumen acumulado (hm <sup>3</sup> ) 2022
Tramo 1	2.25	57.45	69.31	53.39	54.77
Tramo 2	4.11	101.80	107.39	95.96	97.89
Tramo 3	5.56	137.67	142.82	130.56	133.13
Tramo 4	7.31	176.34	176.75	168.15	171.06
Tramo 5	9.47	229.86	218.28	222.31	223.13
Tramo 6	10.63	257.79	240.14	249.65	250.32
Tramo 7	12.78	324.10	298.55	313.47	316.17
Tramo 8	14.88	404.61	386.33	389.80	393.93
Tramo 9	16.41	439.27	424.98	423.56	427.86
Tramo 10	17.89	474.29	464.05	458.45	462.92
Tramo 11	19.03	505.50	503.26	488.17	493.67
Tramo 12	20.86	549.72	559.33	530.57	537.22
Tramo 13	22.98	599.81	620.94	578.47	586.34
Tramo 14	26.90	696.41	721.18	670.28	679.26
Tramo 15/16	29.36	753.84	798.70	727.62	734.25
Tramo 17	32.04	797.34	863.85	769.89	777.49
Tramo 18	33.68	830.44	895.09	802.79	813.05
Tramo 19	35.34	860.87	937.17	831.73	842.49
Tramo 20	37.05	892.30	962.09	861.39	873.41
Tramo 21	38.88	920.70	993.73	888.83	900.73
Tramo 22	39.38	934.84	1006.48	901.94	914.96
Tramo 23	41.70	1010.52	1086.27	972.79	988.91
Tramo 24	44.73	1046.75	1110.77	1006.09	1022.26
Tramo 25	45.56	1058.01	1127.76	1015.79	1032.48
Tramo 26	48.69	1102.35	1164.52	1055.51	1073.03
Tramo 27	49.58	1116.64	1179.41	1068.35	1086.23
Tramo 28	52.07	1149.60	1216.71	1099.62	1117.12
Tramo 29	55.86	1194.15	1253.46	1140.46	1157.39
Tramo 30	59.16	1226.14	1281.90	1170.73	1187.33
Tramo 31	61.39	1245.46	1304.56	1189.39	1204.44
Tramo 32	63.41	1264.34	1325.01	1206.95	1220.23
Tramo 33	65.99	1292.32	1353.41	1232.10	1242.57
Tramo 34	68.30	1316.02	1381.90	1253.35	1260.54
Tramo 35	69.64	1331.89	1393.32	1265.55	1270.78
Tramo 36	72.21	1349.33	1410.71	1281.14	1283.99
Tramo 37	74.77	1366.74	1431.03	1296.49	1296.50
Tramo 38	76.59	1382.76	1450.76	1311.30	1308.40
Tramo 39	79.10	1394.98	1461.38	1321.94	1317.16
Tramo 40	80.16	1399.24	1468.51	1325.84	1320.23
Tramo 41	82.96	1411.98	1481.34	1336.39	1328.63
Tramo 42	86.42	1429.25	1504.76	1350.46	1341.31
Tramo 43	87.85	1434.86	1512.12	1355.35	1345.54
Tramo 44	89.78	1442.69	1519.45	1360.93	1350.72
Tramo 45	91.27	1447.72	1524.78	1365.09	1354.41
Tramo 46	92.83	1452.25	1532.45	1368.79	1357.80
Tramo 47	95.53	1458.92	1536.35	1374.29	1363.26
Tramo 48	102.72	1472.71	1553.51	1381.11	1374.60
Tramo 49	103.77	1474.81	1557.91	1383.21	1376.12
Tramo 50	106.54	1478.24	1561.93	1386.64	1379.12
Tramo 51	108.11	1479.46	1564.92	1387.86	1380.46
Tramo 52	111.99				1383.38
	<b>111.99</b>	<b>1479.46</b>	<b>1564.92</b>	<b>1387.86</b>	<b>1383.38</b>

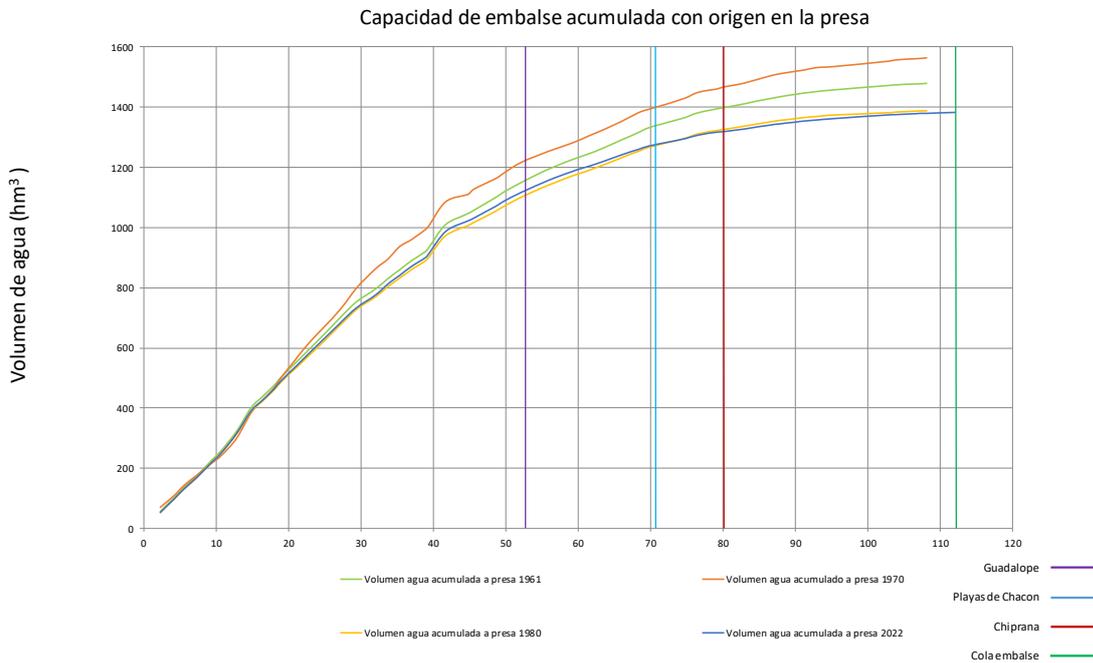


Figura 30. Capacidad de agua embalsada acumulada.

La diferencia entre batimetrías permitiría teóricamente obtener el volumen de sedimentos en los diferentes periodos, pero las diferentes técnicas y precisiones empleadas impiden este análisis, como veremos en más detalle. En la siguiente tabla se aprecian las diferencias que se obtienen. Los valores negativos indicarían un balance de erosión, lo que resulta inverosímil y que, como decimos, se deben a errores de medida.

Tabla 8. Balance teórico de sedimento

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

	Distancia acumulada (Km)	Volumen Sedimento Neto (hm <sup>3</sup> ) 2022-1961	Volumen Sedimento Neto (hm <sup>3</sup> ) 2022-1970	Volumen Sedimento Neto (hm <sup>3</sup> ) 2022-1982	Volumen Sedimento Neto (hm <sup>3</sup> ) 2022-2012
Tramo 1	2.25	2.68	14.54	-1.38	
Tramo 2	4.11	1.23	-5.04	-0.55	
Tramo 3	5.56	0.62	0.18	-0.65	
Tramo 4	7.31	0.74	-4.00	-0.34	
Tramo 5	9.47	1.45	-10.54	2.09	
Tramo 6	10.63	0.74	-5.33	0.15	
Tramo 7	12.78	0.46	-7.44	-2.03	
Tramo 8	14.88	2.75	10.02	-1.43	
Tramo 9	16.41	0.73	4.72	-0.17	
Tramo 10	17.89	-0.03	4.02	-0.16	
Tramo 11	19.03	0.46	8.46	-1.03	
Tramo 12	20.86	0.67	12.52	-1.15	
Tramo 13	22.98	0.98	12.50	-1.21	
Tramo 14	26.90	3.67	7.31	-1.12	
Tramo 15/16	29.36	2.44	22.53	2.35	
Tramo 17	32.04	0.26	21.91	-0.97	
Tramo 18	33.68	-2.46	-4.32	-2.66	
Tramo 19	35.34	0.99	12.64	-0.50	
Tramo 20	37.05	0.51	-6.00	-1.26	
Tramo 21	38.88	1.08	4.32	0.12	
Tramo 22	39.38	-0.09	-1.48	-1.12	
Tramo 23	41.70	1.73	5.84	-3.10	
Tramo 24	44.73	2.87	-8.86	-0.06	
Tramo 25	45.56	1.05	6.78	-0.51	
Tramo 26	48.69	3.79	-3.79	-0.83	
Tramo 27	49.58	1.09	1.69	-0.36	
Tramo 28	52.07	2.08	6.42	0.39	
Tramo 29	55.86	4.27	-3.53	0.56	
Tramo 30	59.16	2.06	-1.49	0.34	-6.39
Tramo 31	61.39	2.21	5.55	1.55	-3.32
Tramo 32	63.41	3.09	4.66	1.77	-1.96
Tramo 33	65.99	5.63	6.05	2.80	-2.16
Tramo 34	68.30	5.73	10.52	3.28	1.40
Tramo 35	69.64	5.63	1.18	1.96	0.05
Tramo 36	72.21	4.23	4.18	2.38	0.42
Tramo 37	74.77	4.89	7.80	2.83	-0.63
Tramo 38	76.59	4.13	7.84	2.92	-0.22
Tramo 39	79.10	3.45	1.85	1.87	-0.58
Tramo 40	80.16	1.19	4.06	0.83	-0.43
Tramo 41	82.96	4.34	4.43	2.15	-0.73
Tramo 42	86.42	4.59	10.74	1.39	-1.21
Tramo 43	87.85	1.38	3.13	0.66	-0.52
Tramo 44	89.78	2.65	2.15	0.40	-0.25
Tramo 45	91.27	1.34	1.64	0.47	-0.36
Tramo 46	92.83	1.13	4.27	0.30	-1.03
Tramo 47	95.53	1.21	-1.56	0.04	-0.93
Tramo 48	102.72	2.44	5.81	-4.53	-4.00
Tramo 49	103.77	0.59	2.89	0.59	-0.45
Tramo 50	106.54	0.42	1.01	0.42	-0.83
Tramo 51	108.11	-0.12	1.65	-0.12	-0.16
Tramo 52	111.99				
	<b>111.99</b>	<b>99.00</b>	<b>184.46</b>	<b>7.40</b>	<b>-24.26</b>

Estos valores, se pueden también representar gráficamente, como en el caso del periodo 1961-2022.

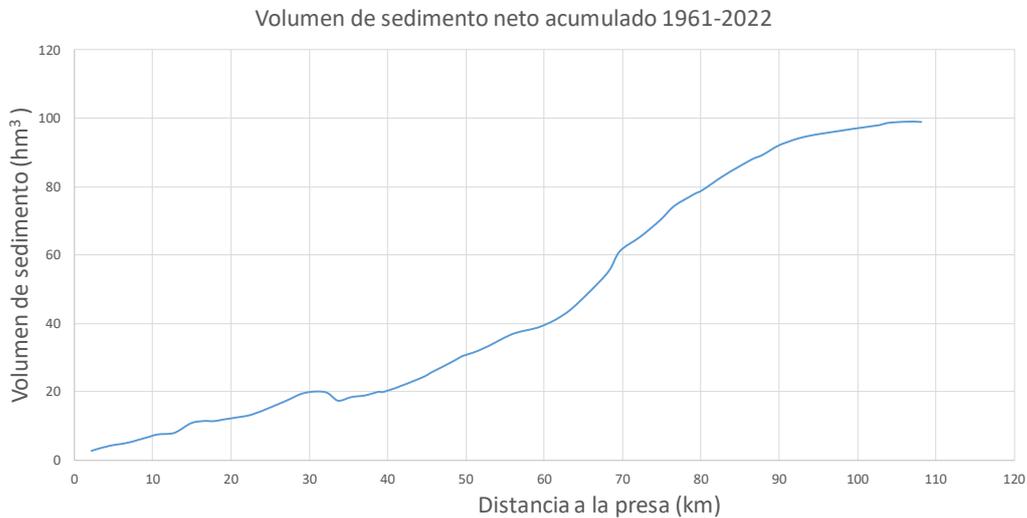


Figura 31. Gráfico de sedimento teórico acumulado en el vaso desde la presa.

Si analizamos la información espacialmente es más fácil entender las dificultades. Al comparar la batimetría de 2022 con la topografía digitalizada de 1961 por un lado vemos algo lógico, como es la disposición de los mayores sedimentos en la zona de cola, básicamente en la zona Chiprana-Caspe, que es algo constatado en trabajos anteriores y, por otro, zonas con significativos niveles de erosión, fundamentalmente en los bordes del vaso del embalse.

Que existe erosión por el oleaje en la carrera del embalse es indudable. Esto ha sido documentado y existe testimonio gráfico (figura 30), pero esto no explica el volumen de erosión que se obtiene del tratamiento digital de la información, que identifica alturas de erosión de varios metros. Se identifican como zonas de teórica gran erosión los bordes laterales más externos al vaso del embalse, lo que carece de fundamento físico ya que deberían ser las zonas más inmutables, por lo que solo la falta de precisión de las topografías del pasado frente a la elevada precisión del vuelo LIDAR, explicaría la divergencia.

Algo similar sucede con la batimetría de 1982, sobre la que también se detectan anomalías que no siguen un patrón lógico. Que no se conserve el informe sobre la elaboración de esta batimetría impide también disponer de mejor información para poder interpretar las causas de estas anomalías.

Fruto de ello, los valores de volúmenes acumulados de la batimetría de 2022 resultan muy similares a los de 1982. Esto resulta contradictorio, porque no cabe duda de que entre 1982 y

2022 se ha producido una acumulación de sedimentos. Esta acumulación es nítidamente constatable entre 2012 y 2022 a partir de los testimonios gráficos disponibles (ver anejo 9).

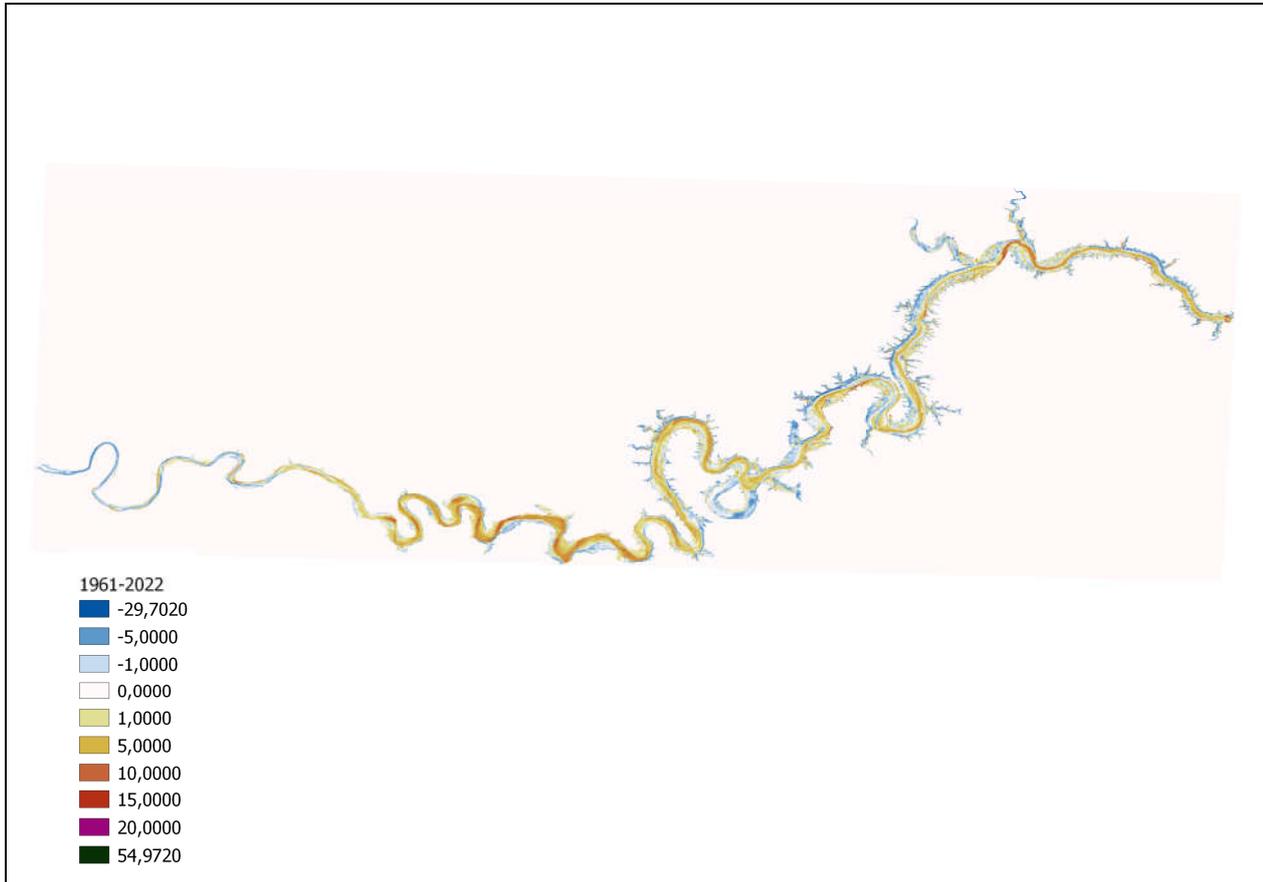


Figura 32. Disposición espacial de las zonas de erosión-sedimentación 1961-2022. Tonos azulados: erosión

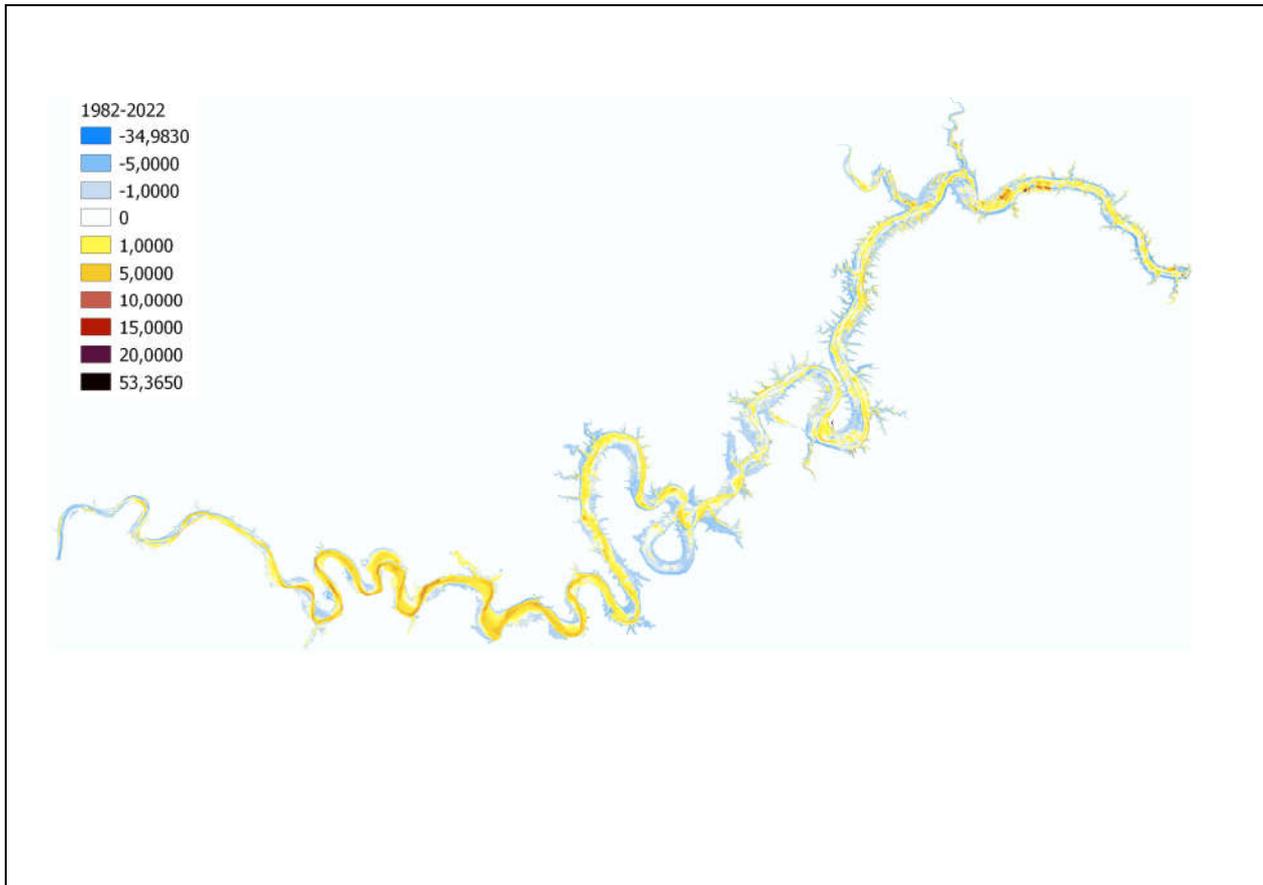


Figura 33. Disposición espacial de las zonas de erosión-sedimentación 1982-2022. Tonos azulados: erosión.



Figura 34. Fotografías de raíces descubiertas por la erosión del oleaje



Figura 35. Evolución gráfica de la acumulación de sedimentos 2012-2022. A la izquierda fotografías de 2012. A la derecha de 2022 desde el mismo punto a nivel de embalse similar.

En definitiva, a la vista de lo anterior puede apreciarse lo difícil que resulta hacerse una idea totalmente cabal del volumen de sedimentos realmente acumulados en el embalse y su evolución con la información existente. En resumen, disponemos de la siguiente información:

Tabla 9. Tabla resumen de sedimentos estimados

	TOPOGRAFÍA-BATIMETRÍA	VOLUMEN DE EMBALSE hm <sup>3</sup>	SEDIMENTOS ESTIMADOS hm <sup>3</sup>
(1)	1961 Proyecto del salto de Mequinenza (ENHER). Cubicación a partir de los fotoplanos de 1927, 1:10.000 curvas cada 10 m,	1.534 (cota 121)	-
(2)	1961 Proyecto del salto de Mequinenza (ENHER). Digitalización y vectorización de la topografía 1:5.000	1.483,27 (cota 121,15)	-
(3)	1970 Batimetría CEDEX (el embalse comenzó propiamente su explotación en 1966, llenando en noviembre de ese año por encima de 1000 hm <sup>3</sup> )	1.565,91 (cota 121,15)	-
(4)	1982 Batimetría CEDEX (El Instituto Flumen-UPC, fruto de un convenio con la CHE está analizando de forma paralela las batimetrías históricas, llegándose a la conclusión de que debería descartarse la batimetría del embalse de Mequinenza por las importantes anomalías encontradas en el análisis comparativo de la misma y la batimetría de 2022	1.387,87 (cota 121,15)	95,4 frente a (2); 146,13 frente a (1)
(5)	2012 CHE (Control de Obra Civil). Topografía terrestre de la cola, últimos 55 km. (El Instituto Flumen-UPC, fruto de un convenio con la CHE está analizando de forma paralela en las batimetrías históricas, llegando a la conclusión de que debería desestimarse para realizar estudios de evolución del sedimento).		76,8 (para el conjunto del embalse)
(6)	2012 CHE (Tragsatec). Se realiza una aproximación al volumen de sedimentos a partir de 13 perfiles transversales de la topografía de 1961 (obtenidos manualmente sobre mapas originales), sondeos en la cola realizados por Control de Obra Civil en 2011 y datos de batimetría obtenidos de ecosonda en 2008 utilizada para la evaluación de población de peces y mejillón cebra		133
(7)	2022 (Este trabajo)	1.383,38 (cota 121,15) 1.372,67 (cota 121,00)	100, frente a (2); 161, frente a (1)

La cubicación de la batimetría de este trabajo arroja un valor de 1.383,38 hm<sup>3</sup> a la cota 121,15 que dada su ejecución con procedimientos técnicos más precisos que todo lo hecho en el pasado, se considera de mayor exactitud y fiabilidad. A la cota 121,00 hablaríamos de 1.372,6 hm<sup>3</sup>.

Para saber los sedimentos acumulados, tanto desde 1961, como en periodos intermedios, deberíamos disponer de una mayor certidumbre sobre la bondad de las diferentes mediciones, cosa que no tenemos. En un embalse de tanta longitud, cualquier imprecisión motivada por las técnicas disponibles en cada momento, puede conducir a resultados dispares.

En este sentido, el análisis de la topografía original del proyecto de 1961 y la mejora en su digitalización resulta fundamental para reducir las incertidumbres y poder estimar de una forma más realista la acumulación de sedimentos en todo el periodo.

#### 4.2.4 Perfiles transversales

De todos los tramos se ha obtenido un perfil transversal característico, coincidente aproximadamente con el punto medio del tramo, los cuales se recogen en el anejo 4.

En ellos se incluye su comparación con 1961 y 1982 lo que ilustra algunos de los problemas ya referidos y detectados de la falta de comparabilidad por la menor precisión de la información previa.

En los tramos iniciales, donde por los antecedentes la acumulación de sedimentos es prácticamente inexistente debería existir una gran coincidencia entre todas las líneas, pero esto no siempre sucede.

Por ejemplo, en el Tramo 10 – Perfil 10, a unos 18 km de la presa, se aprecia esa coincidencia en el fondo del antiguo cauce, pero en los laterales existen discrepancias difíciles de explicar salvo por la falta de precisión.

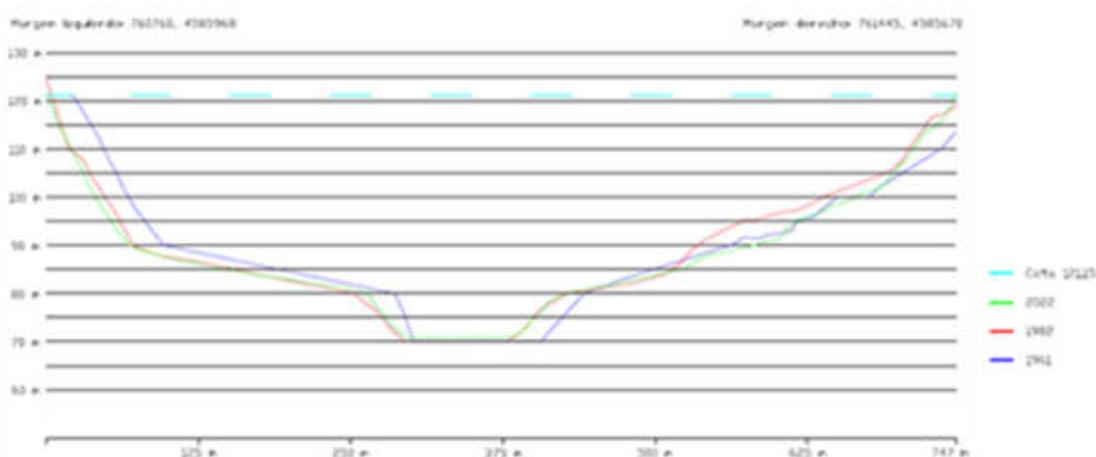


Figura 36. Perfil 10. Comparación de perfil del antiguo cauce con el actual.

Más aguas arriba, en el Tramo 30 – Perfil 30, a unos 60 km de la presa, y donde se percibe, incluso a la vista, una notable acumulación de sedimentos, la comparación sin duda la revela, pero vemos en las franjas laterales, que deberían haber permanecido mayormente inmutables,

el mismo tipo de discrepancias que solo las diferencias en las técnicas topográficas y batimétricas pueden explicar.

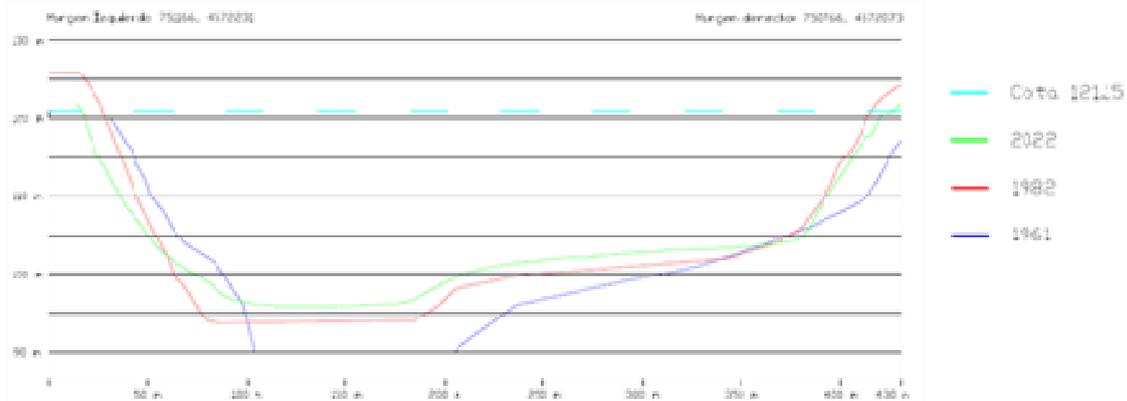


Figura 37. Perfil 30. Comparación de perfil del antiguo cauce con el actual.

En la parte más final, donde el cauce se estrecha las, dificultades para una adecuada comparabilidad aumentan, como se ilustra con el caso del Tramo 47 – Perfil 47 a unos 98 km de la presa

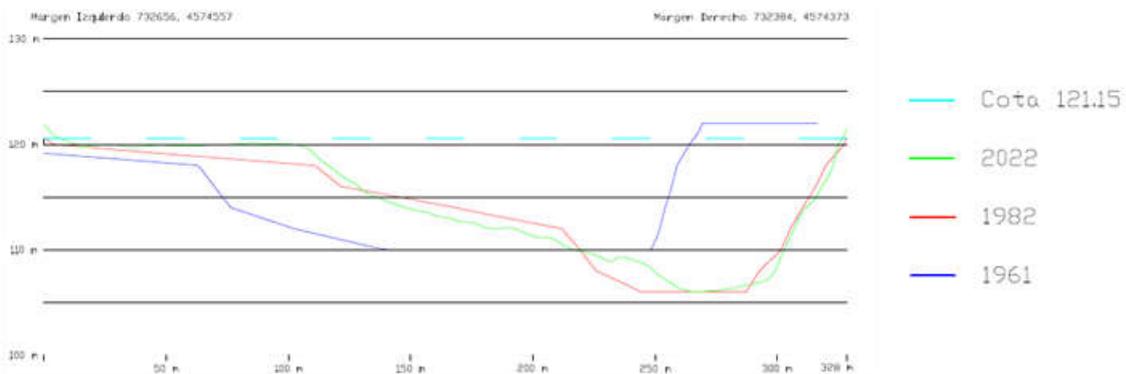


Figura 38. Perfil 47. Comparación de perfil del antiguo cauce con el actual.

#### 4.2.5 Perfil longitudinal

Utilizando las curvas de nivel de 0,5 m se ha definido un eje longitudinal a lo largo del embalse buscando las zonas más profundas y el lecho del río Ebro. Ese perfil correspondiente al eje longitudinal se recoge en el anejo 4.

Se aprecia el levantamiento del perfil que ha implicado la acumulación de los sedimentos en los tramos de la cola, principalmente entre 47 y 30 y que acumulan el mayor volumen de sedimentos.

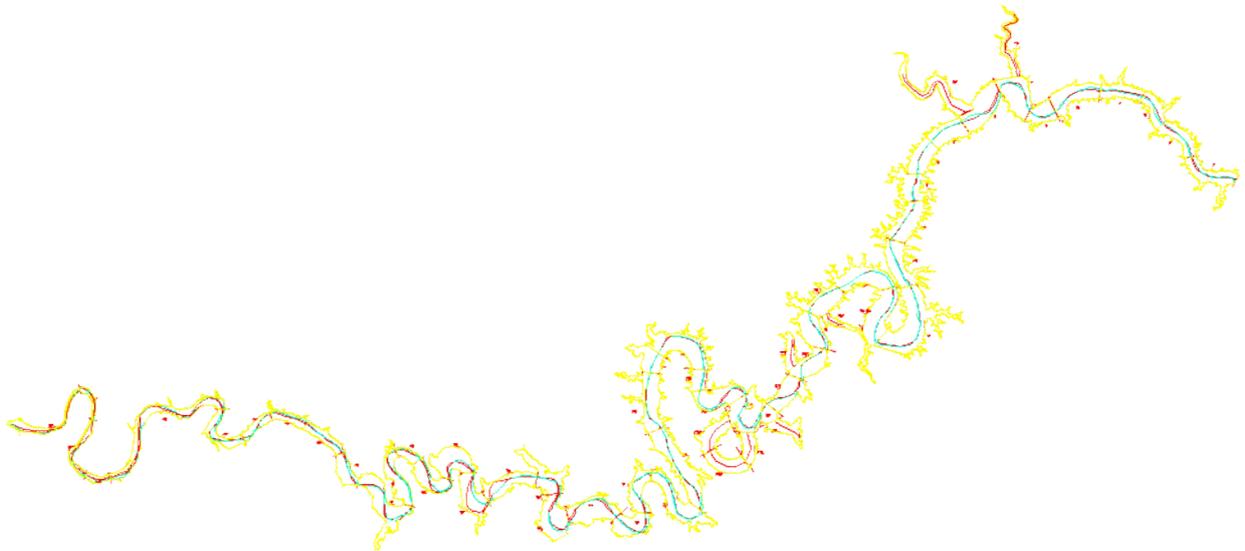


Figura 39. Planta representando eje longitudinal del CEDEX, color rojo y eje longitudinal del año 2022, color celeste.

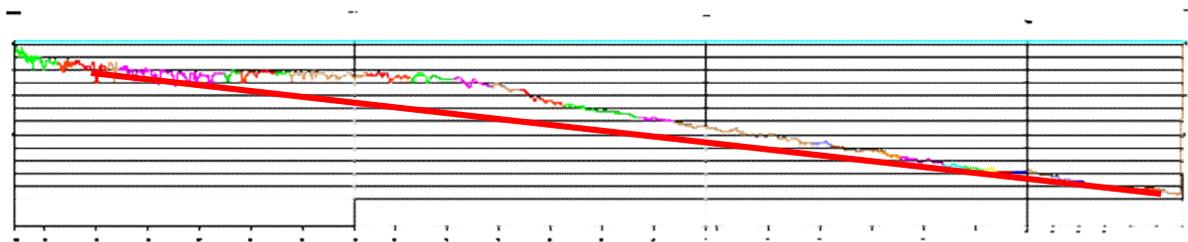


Figura 40. Perfil longitudinal. En rojo el perfil aproximado previo al embalse

Tabla 10. Longitud de los diferentes tramos comparando eje CEDX y eje 2022.

	Longitud tramo (m)	Distancia acumulada (Km)	Longitud tramo 2022 (m)	Distancia Acumulada (Km) 2022
Tramo 1	2 251	2.25	2 245	2.25
Tramo 2	1 858	4.11	1 835	4.08
Tramo 3	1 455	5.56	1 436	5.52
Tramo 4	1 750	7.31	1 760	7.28
Tramo 5	2 154	9.47	2 176	9.45
Tramo 6	1 159	10.63	1 168	10.62
Tramo 7	2 154	12.78	2 234	12.85
Tramo 8	2 101	14.88	2 167	15.02
Tramo 9	1 531	16.41	1 522	16.54
Tramo 10	1 479	17.89	1 446	17.99
Tramo 11	1 138	19.03	1 197	19.19
Tramo 12	1 828	20.86	1 873	21.06
Tramo 13	2 120	22.98	2 156	23.22
Tramo 14	3 923	26.90	4 019	27.23
Tramo 15/16	2 457	29.36	2 527	29.76
Tramo 17	2 678	32.04	2 684	32.45
Tramo 18	1 641	33.68	1 656	34.10
Tramo 19	1 659	35.34	1 700	35.80
Tramo 20	1 714	37.05	1 718	37.52
Tramo 21	1 827	38.88	1 859	39.38
Tramo 22	504	39.38	517	39.90
Tramo 23	2 321	41.70	2 432	42.33
Tramo 24	3 024	44.73	3 035	45.36
Tramo 25	834	45.56	831	46.19
Tramo 26	3 130	48.69	3 137	49.33
Tramo 27	890	49.58	893	50.22
Tramo 28	2 487	52.07	2 491	52.71
Tramo 29	3 791	55.86	3 829	56.54
Tramo 30	3 300	59.16	3 316	59.86
Tramo 31	2 228	61.39	2 258	62.12
Tramo 32	2 022	63.41	3 996	66.11
Tramo 33	2 583	65.99	802	66.92
Tramo 34	2 308	68.30	2 392	69.31
Tramo 35	1 334	69.64	1 350	70.66
Tramo 36	2 574	72.21	2 423	73.08
Tramo 37	2 563	74.77	1 709	74.79
Tramo 38	1 814	76.59	1 861	76.65
Tramo 39	2 518	79.10	2 360	79.01
Tramo 40	1 054	80.16	1 146	80.16
Tramo 41	2 801	82.96	2 769	82.93
Tramo 42	3 458	86.42	3 475	86.40
Tramo 43	1 430	87.85	1 390	87.79
Tramo 44	1 931	89.78	1 963	89.75
Tramo 45	1 487	91.27	1 552	91.31
Tramo 46	1 560	92.83	1 581	92.89
Tramo 47	2 702	95.53	2 721	95.61
Tramo 48	7 195	102.72	7 474	103.08
Tramo 49	1 045	103.77	1 136	104.22
Tramo 50	2 767	106.54	2 967	107.18
Tramo 51	1 572	108.11	1 682	108.87
Tramo 52	3 884	111.99	4 130	113.00
		<b>111.99</b>		<b>113.00</b>

## 5 ESTUDIO SEDIMENTOLÓGICO

El estudio sedimentológico puede dividirse en 4 etapas: planificación de los trabajos, toma de muestras, análisis en laboratorio y obtención de conclusiones de los mismos.

La toma de muestras se ha realizado mediante dos procedimientos principales: toma de muestras de sedimento sumergido desde la embarcación “Prosermar Siete”, un bote de polietileno de alta densidad y, la realización de sondeos mecánicos en el sedimento emergido desde la orilla, que permiten obtener columnas estratigráficas.

La toma de muestras de sedimento sumergido se ha planificado teniendo en cuenta las batimetrías existentes para localizar las zonas de máxima acumulación. Desde la embarcación, se ha utilizado una draga Van Veen, que consiste en dos cucharas conectadas por una bisagra que las mantiene separadas mientras el instrumento desciende por la columna de agua. Tras tocar el fondo y recoger el sedimento, la draga se bloquea y permite recuperarla sin perder el sedimento. En total, se han tomado 185 muestras, 127 en el embalse de Mequinenza y 54 en el embalse de Ribarroja, además de 2 de comprobación y 2 muestras fotogramétricas de las gravas.



Figura 41. Detalle de cuchara Van Veen.

En cuanto a los sondeos, se ha tratado de ubicar los ensayos en la cola de los embalses, pero ha dependido en gran parte de la accesibilidad del área de estudio. En cada sondeo se han tomado varias muestras (inalteradas o alteradas dependiendo de posibilidades), espaciadas

aproximadamente cada 2 m, o según cambio de material. En total, se han realizado 30 sondeos, 20 en el embalse de Mequinenza y 10 en el embalse de Ribarroja.

Tras la toma, las muestras se han llevado principalmente al Laboratorio Tecnológico de Levante (LTL) para su análisis, que cuenta con acreditación ENAC, aunque también se han realizado análisis de contraste en el laboratorio de materiales de CEMOSA y en la Universidad de Granada. Estos análisis de contraste se han realizado en muestras del embalse de Ribarroja, que cronológicamente fueron las primeras en obtenerse y sirvieron para validar los resultados del laboratorio principal.

Se han llevado a cabo los siguientes ensayos:

- Físicos: Textura, granulometría, densidad, conductividad, sólidos totales.
- Químicos: N, P, pH,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{CaCO}_3$ , materia orgánica, nitratos, carbono orgánico.
- Metales: Ag, Al, As, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, V, Zn.
- Orgánicos: DDT (diclorodifeniltricoloroetano) y sus metabolitos DDE y DDD; HCH (hexaclorociclohexano) e isómeros como lindano, PCB (policlorobifenilos), PBDE (polibromodifenilos éter), HBCDD (hexabromociclododecanos).

Por último, tras la ejecución de los trabajos de campo y de laboratorio se han tratado los datos obtenidos y obtenido en gabinete las conclusiones que en los siguientes apartados se detallan.

## **5.1 EMBALSE DE MEQUINENZA. RESEÑA SEDIMENTOLÓGICA**

### **5.1.1 Toma de muestras de sedimento sumergido**

En el embalse de Mequinenza se han obtenido un total de 127 muestras de sedimento sumergido. Las muestras se disponen a lo largo de los 52 tramos en los que se ha dividido el embalse, siendo el tramo 52 el correspondiente al azud de Escatrón y el 1 a la presa de Mequinenza. Las muestras se nombran como MAM-XXX y se organizan con números de menor a mayor con inicio en la presa. Algunas de las muestras repiten número acompañado de letra distinta cuando se trataba del mismo transecto. Las condiciones hidrológicas, con el nivel de embalse muy bajo en algunos momentos, provocaron que del orden de una decena de muestras tuvieran que extraerse a pie y manualmente, y no desde barca con la draga Van Been.

Para facilitar el análisis posterior se ha asignado un PK a cada una de las muestras, considerando el PK= 0 en la presa de Mequinenza. De ahí se dibuja un eje central ficticio sobre el que van sumando puntos pilométricos avanzando aguas arriba y sobre el que se proyectan las muestras.

Para la ubicación concreta de los puntos de muestreo se han tenido en cuenta los resultados previos de la batimetría, y aunque los puntos se distribuyen casi homogéneamente por todo el

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

embalse, hay una ligera densificación en las zonas que concentran los sedimentos, así como en las cercanías de la presa.

Se ha dispuesto también un muestreo fotográfico sobre las gravas en la cola del embalse.

En el anejo 7 se incluyen las coordenadas y planos de ubicación.

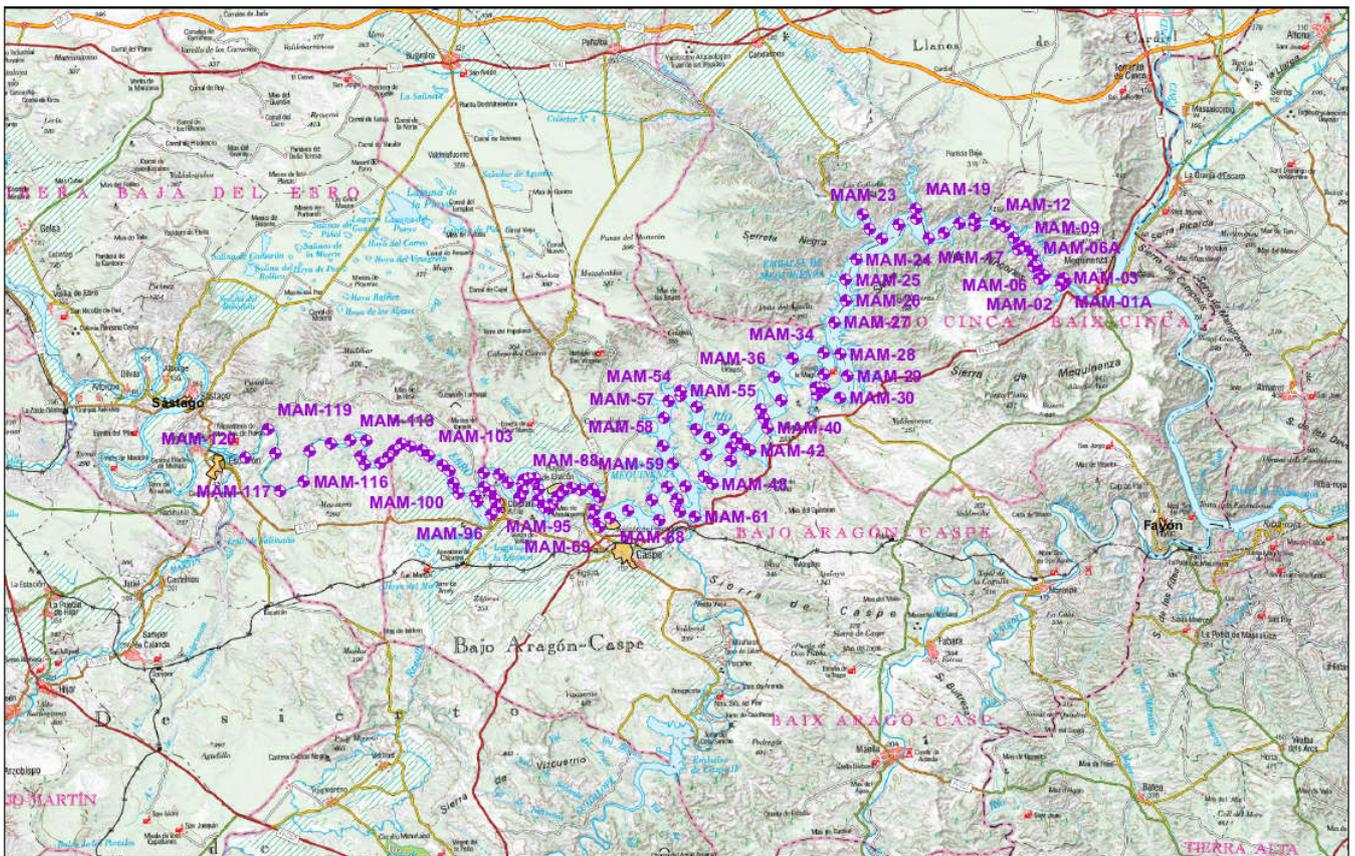


Figura 42. Muestras sedimento sumergido embalse de Mequinenza: MAM.

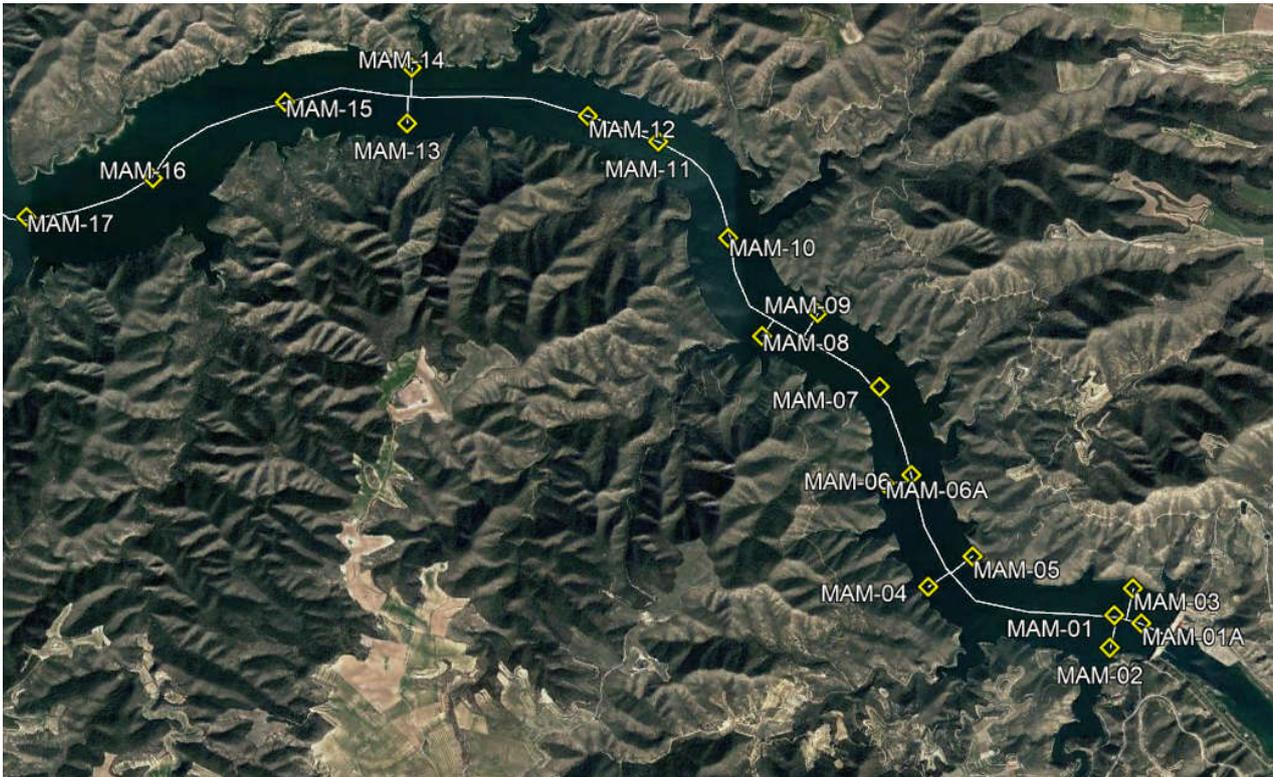


Figura 43. Detalle de muestras MAM; proyectadas sobre el eje central.

### 5.1.2 Resultados analíticos de las muestras de sedimento sumergido

#### A) GRANULOMETRÍA. TEXTURA.

Para la caracterización de la textura de los sedimentos se ha utilizado el diagrama de Shepard 1954, conforme lo previsto en el pliego de prescripciones técnicas. Shepard clasifica la textura del sedimento de la siguiente forma: fracción de arcilla ( $<4 \mu\text{m}$ ), fracción de limo ( $4\text{-}63 \mu\text{m}$ ), fracción de arena ( $>63 \mu\text{m}$ ).

De las 127 muestras solo ha podido realizarse esta operación en 119 de ellas. Las 8 restantes estaban formadas por gravas y fracciones gruesas, de las que simplemente se ha realizado granulometría.

El diagrama ternario resultante de Shepard nos muestra una textura limo-arcillosa bastante homogénea de todo el sedimento a lo largo del embalse.

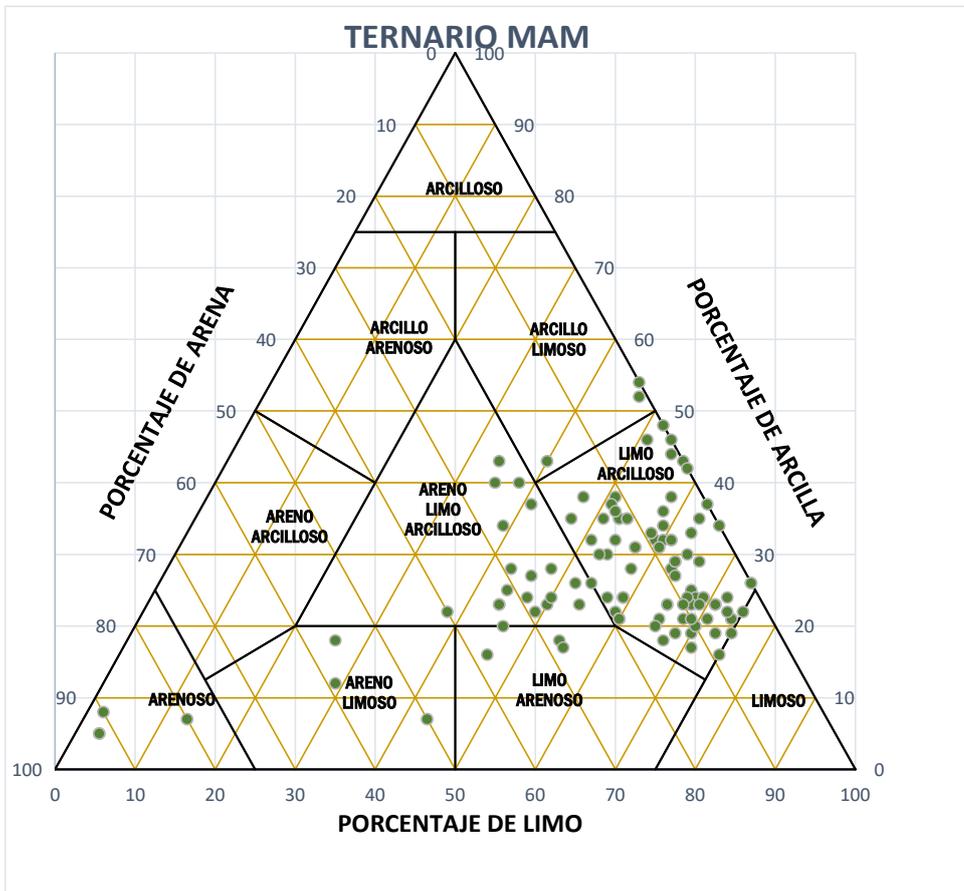


Figura 44. Diagrama ternario Shepard de las muestras de sedimento sumergido del embalse de Mequinenza

Si representamos las texturas en un diagrama lineal, situándose el PK 0 en la presa, apreciamos una ligera tendencia a texturas más finas cuanto más cerca del presa, pero no es excesivamente nítida, y se reduce todavía más si eliminamos valores que se podrían considerar atípicos (outlier).

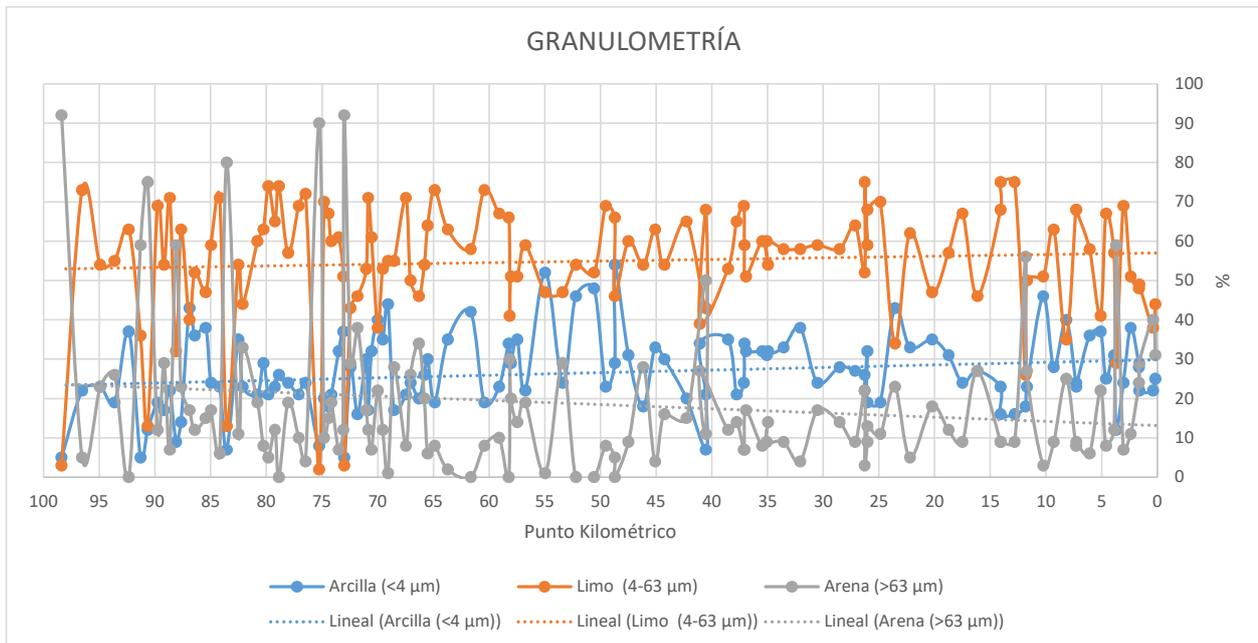


Figura 45. Texturas granulométricas Shepard por PK embalse de Mequinenza

Esos valores que podrían considerarse atípicos (outlier) en nuestra serie de datos, con porcentajes de arena muy elevados comparativamente, responden a la características del punto de muestreo, ya sea porque se encuentran cerca del pk 100 y por tanto en la cola del embalse con funcionamiento de río durante periodos del año, o porque estamos tomando una muestra afectada por fenómenos erosivos de oleaje que genera arenas y no refleja los sedimentos propiamente transportados por el río.

Un ejemplo explícito de esto, lo encontramos en las diferencias entre las muestras MAM-47 y MAM-48 (pk 40.5), a 35 m de distancia una de otra en el mismo transecto, pk 40,5, en el tramo 23B en la Isla de la Herradura y tomadas deliberadamente con esta cercanía para ilustrar el fenómeno. MAM-48 se encontraba más cerca de la orilla, en lugar donde se apreciaba nítidamente y al tacto la presencia de arenas creadas por la acción erosiva de las olas. en ella la fracción de arena es la mayoritaria, pero no pertenece al sedimento transportado por el río sino a erosión *in situ*:

Tabla 11. Texturas puntos MAM 47 y 48.

Fracción	MAM-47	MAM-48
% Arcilla	21	7
% Limo	68	43
% Arena	11	50

Los porcentajes medios que se obtienen de todos los puntos muestreados son:

- Fracción de arcilla: 26.5 %
- Fracción de limo: 54.9 %
- Fracción de arena: 18.5 %

Los mayores contenidos de arena se encuentran aguas arriba del pk 90, aunque aguas abajo, por condiciones locales podemos hallar puntos también con contenidos altos de arena.

En la parte más extrema de la cola del embalse y cercana a Escatrón (del pk 100 al pk 113), donde la mayor parte del año funciona como río, encontramos los muestreos con granulometrías gruesas, sin fracciones finas. Se trata de los puntos MAM-117, 118, 119 Y 120, más allá del pk 100 (MAM-117 en pk 101,7).

Otros cuatro puntos solo han arrojado granulometrías de materiales gruesos. Se trata de MAM-23, situado en el barranco de La Valcuerna, y los puntos MAM-2, 3 y 6A, en las proximidades de la presa, en zonas cercanas a la orilla y entendiéndose que se trata de sedimento de las terrazas fluviales.

En el pk 95,2, se realizó un muestreo fotogramétrico en una barra de gravas.

## B) OTROS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Si nos centramos ahora en otros parámetros básicos de carácter físico y químico, encontramos también una relativa homogeneidad sin grandes desviaciones en el conjunto de muestras (119), salvo en el caso de la conductividad. Se obtiene una densidad media, en seco de 2 kg/L.

**Tabla 12. Estadística de parámetros físico-químicos.**

	Amonio (NH <sub>4</sub> -N) % N sms	Densidad g/ml	Carbonatos % CaCO <sub>3</sub> sms	Conductividad 25°C (1:5) µS/cm	Carbono orgánico total % sms	Materia orgánica total (calcinación) % sms
Media	0.001686	2.0810	36.9	1105	2.545	4.39
Mediana	0.001275	2.0700	35.6	1180	2.710	4.68
Máximo	0.010700	2.7300	55.3	2560	3.910	6.75
Mínimo	0.000120	1.5500	18.5	152	0.307	0.53
Desviación estándar	0.001556	0.2321	5.9	540	0.851	1.47

	Materia seca % smh	Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) mg N/kg ms	Nitrogeno kjeldahl (N) % sms	Nitrógeno organico (N) % sms	Nitrógeno total (N) % sms	Fósforo (P) % (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) % sms	pH (1:2,5) u. pH
Media	50.6	4.42	0.172	0.170	0.176	0.141	7.4
Mediana	48.5	2.73	0.176	0.175	0.184	0.149	7.4
Máximo	82.9	33.40	0.287	0.285	0.291	0.243	8.2
Mínimo	21.3	< 2.30	< 0.100	< 0.100	< 0.100	0.037	6.0
Desviación típica	14.1	4.27	0.048	0.048	0.049	0.043	0.5

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

Nota: Para la obtención de medias y desviación, los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

No obstante, en algunos de los parámetros se aprecian con claridad tendencias a lo largo del embalse. La densidad tiene a descender según nos acercamos a la presa, mientras que el contenido en nutrientes asciende.

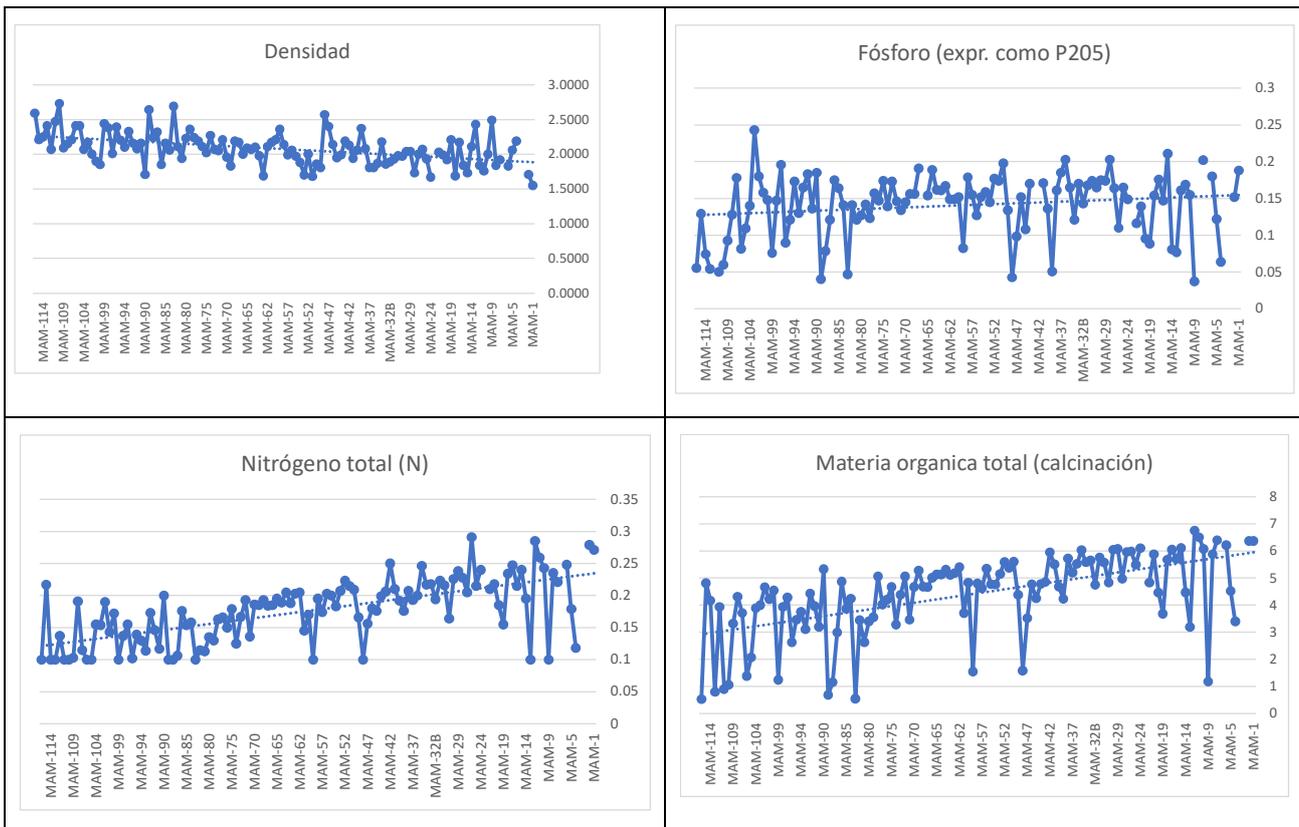


Figura 46. Tendencias principales parámetros físico-químicos

La ubicación concreta del punto de muestreo influye en la variabilidad de los valores. Si nos fijamos de nuevo en las muestras muy próximas MAM-47 y MAM-48, constituyendo esta última un ejemplo de mayoritarios sedimentos locales formados por el oleaje, como se ha visto, nos encontramos con valores muy divergentes de algunos parámetros como la conductividad y la materia orgánica y que corroboran la diferencia entre los materiales:

**Tabla 13. Parámetros físico-químicos MAM-47 y MAM-48.**

	Amonio (NH <sub>4</sub> -N) % N sms	Densidad g/ml	Carbonatos % CaCO <sub>3</sub> sms	Conductividad 25°C (1:5) µS/cm	Carbono orgánico total % sms	Materia orgánica total (calcinación) % sms
MAM-47	0.0018	2.4000	44.5	1420	2.040	3.52
MAM-48	0.0014	2.5700	40.7	362	0.915	1.58

	Materia seca % smh	Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) mg N/kg ms	Nitrogeno kjeldahl (N) % sms	Nitrógeno organico (N) % sms	Nitrógeno total (N) % sms	Fósforo (P) % (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) % sms	pH (1:2,5) u. pH
MAM-47	50.6	5.38	0.184	0.182	0.187	0.0982	7.4
MAM-48	48.5	3.71	0.186	0.185	0.191	0.0424	7.4

### C) CONTENIDO DE METALES

De 114 muestras de las 127 se han obtenido concentraciones de metales (incluido el selenio pese a ser un no metal). También se aprecia bastante homogeneidad en el contenido metálico de los sedimentos.

**Tabla 14. Estadística de contenido metálico de las muestras de sedimento sumergido.**

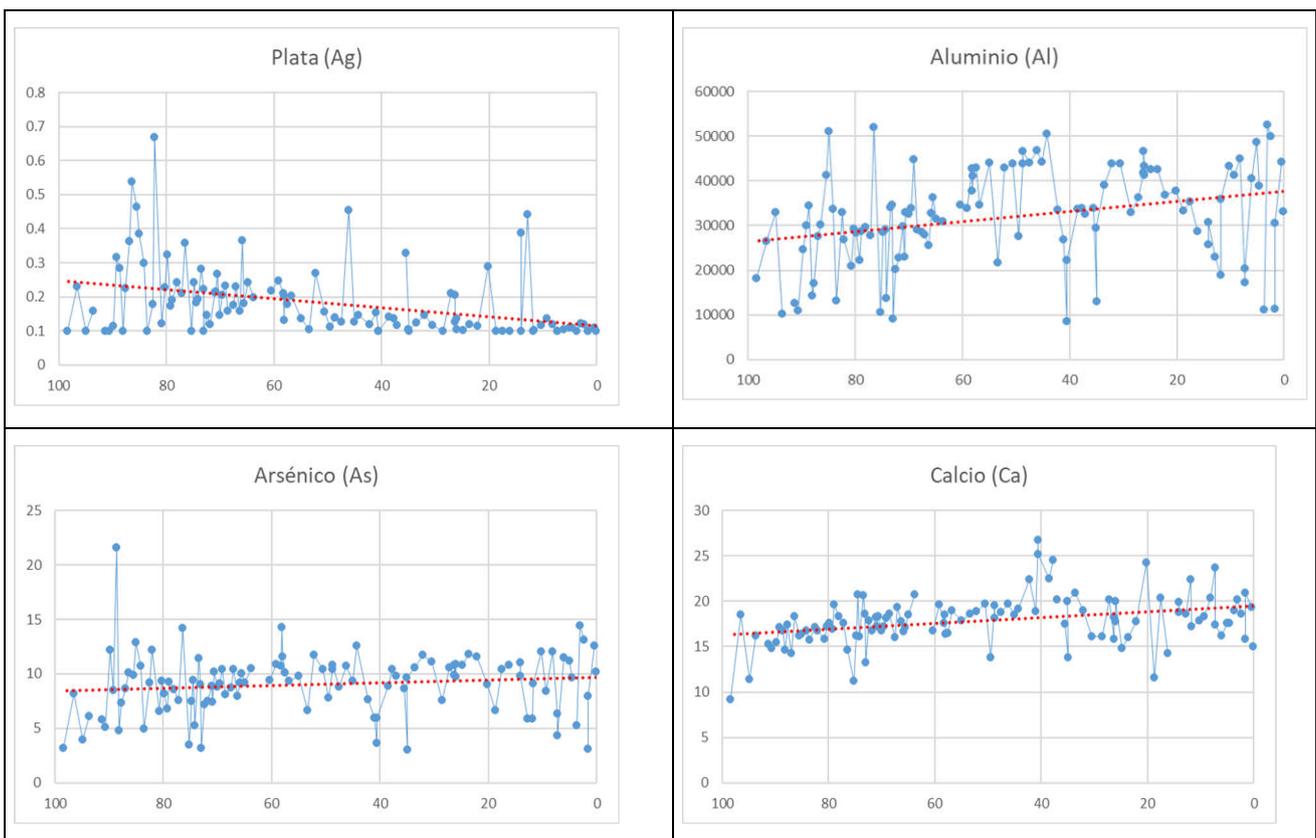
Elemento	Unidades	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación típica
Plata (Ag)	mg/kg ms	0.183	0.144	0.669	<0.1	0.104
Aluminio (Al)	mg/kg ms	32013	32900	52600	8560	10778
Arsénico (As)	mg/kg ms	9.077	9.310	21.600	3.040	2.814
Calcio (Ca)	% CaO sms	17.847	17.800	26.700	9.180	2.723
Cadmio (Cd)	mg/kg ms	0.248	0.239	1.430	<0.1	0.141
Cobalto (Co)	mg/kg ms	7.099	7.325	10.800	2.280	1.825
Cromo (Cr)	mg/kg ms	36.336	38.000	56.100	10.300	11.512
Cobre (Cu)	mg/kg ms	16.001	17.100	29.100	3.490	5.539
Hierro (Fe)	mg/kg ms	21038	21600	35900	5720	5441
Mercurio (Hg)	mg/kg ms	0.1004	<0.1	0.1510	<0.1	0.005
Potasio (K)	% K <sub>2</sub> O sms	1.067	1.080	1.900	0.167	0.410
Magnesio (Mg)	% MgO sms	1.916	1.995	5.970	0.354	0.676
Manganeso (Mn)	mg/kg ms	306	322	466	86	77
Molibdeno (Mo)	mg/kg ms	1.064	<1	6.270	<1	0.503
Sodio (Na)	g/kg ms	1.042	1.065	1.800	0.233	0.362
Níquel (Ni)	mg/kg ms	20.8	22.1	30.0	5.6	6.0
Plomo (Pb)	mg/kg ms	18.6	18.7	93.1	4.2	11.0
Antimonio (Sb)	mg/kg ms	0.524	0.521	1.540	0.114	0.232
Selenio (Se)	mg/kg ms	0.582	0.567	1.330	<0.1	0.232

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

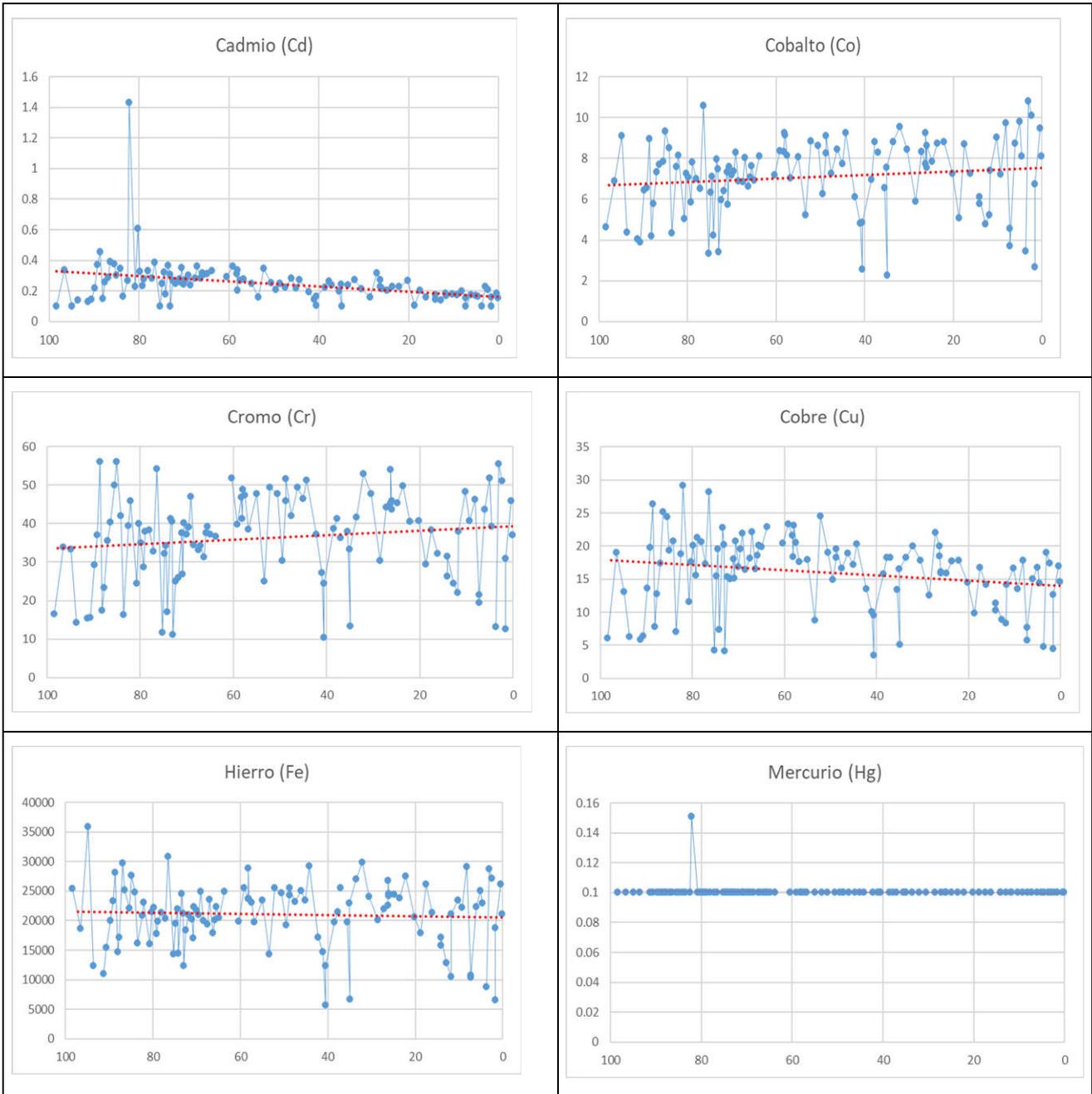
Elemento	Unidades	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación típica
Estaño (Sn)	mg/kg ms	2.583	<2.5	4.880	<2.5	0.283
Estroncio (Sr)	mg/kg ms	432	437	599	210	78
Vanadio (V)	mg/kg ms	44.6	45.1	76.8	12.9	15.4
Zinc (Zn)	mg/kg ms	77.6	82.9	306.0	18.0	32.3

Nota: Para la obtención de medias y desviación los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

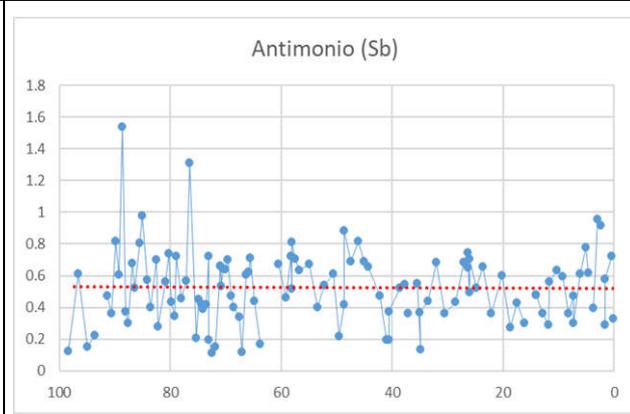
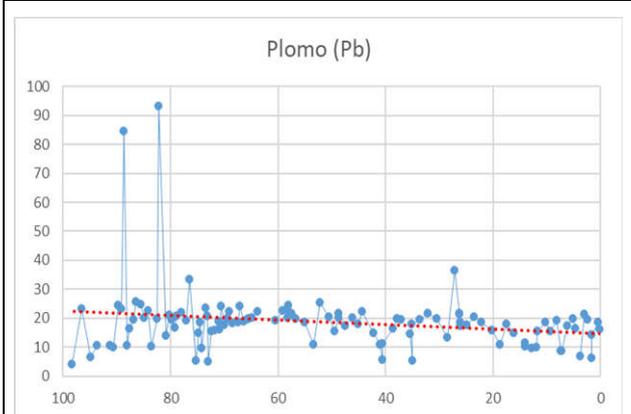
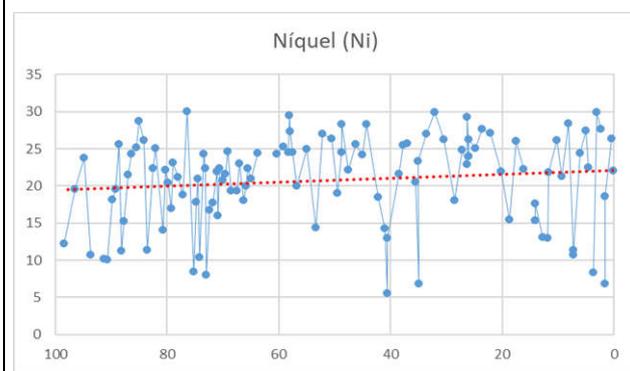
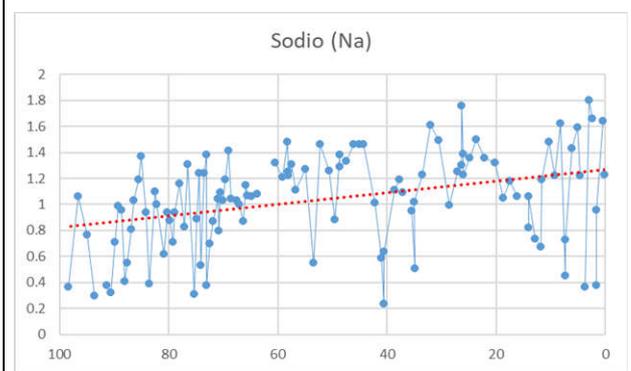
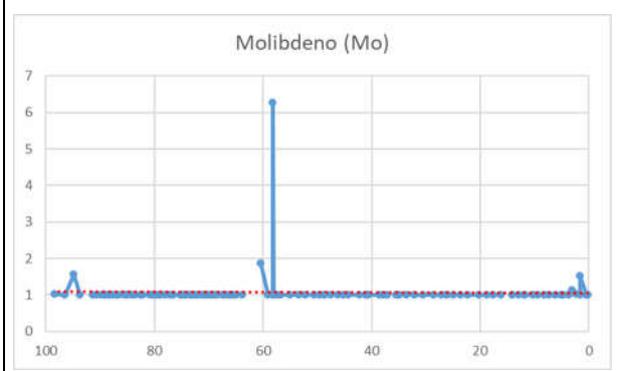
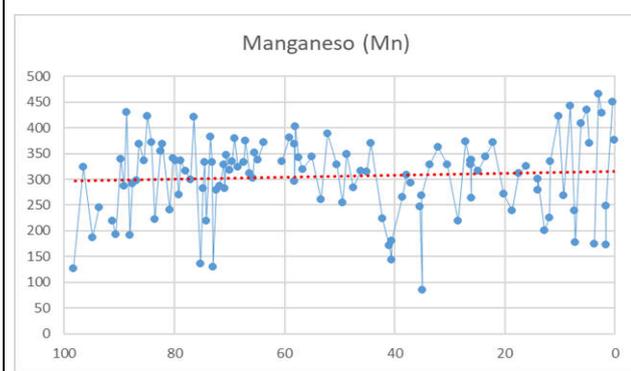
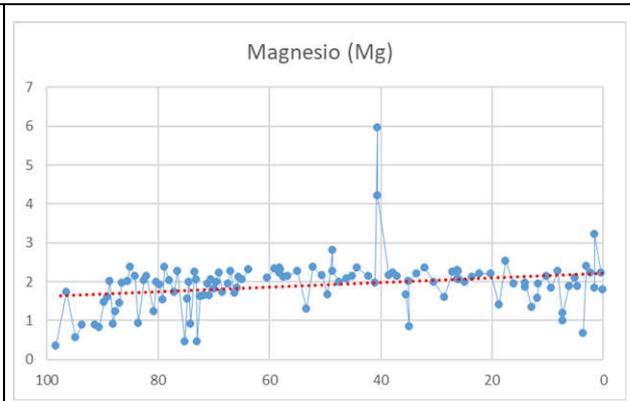
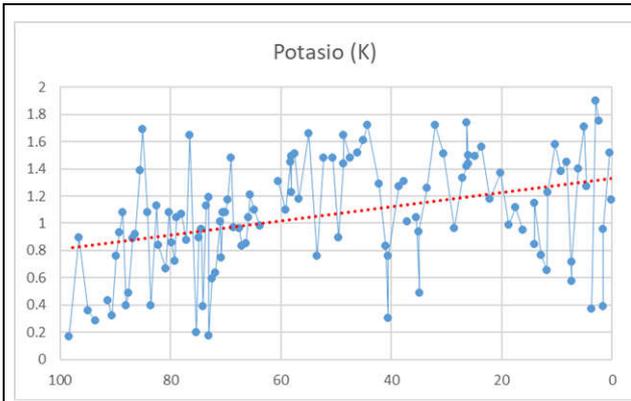
Organizados los diferentes resultados por punto kilométrico (la presa: pk 0), a lo largo del embalse no se perciben tendencias muy claras. En la cola del embalse, cerca del pk 100, con funcionamiento más propio de río, parecen detectarse en general concentraciones algo menores. Igualmente, si seleccionamos ciertos puntos que, de acuerdo con la ubicación y las texturas encontradas, no parecen corresponder con los sedimentos transportados por el río, sino con fenómenos locales de erosión, encontramos concentraciones menores a los de la pauta general. Estos puntos son por ejemplo MAM-9, 19, 48, 89, 99.



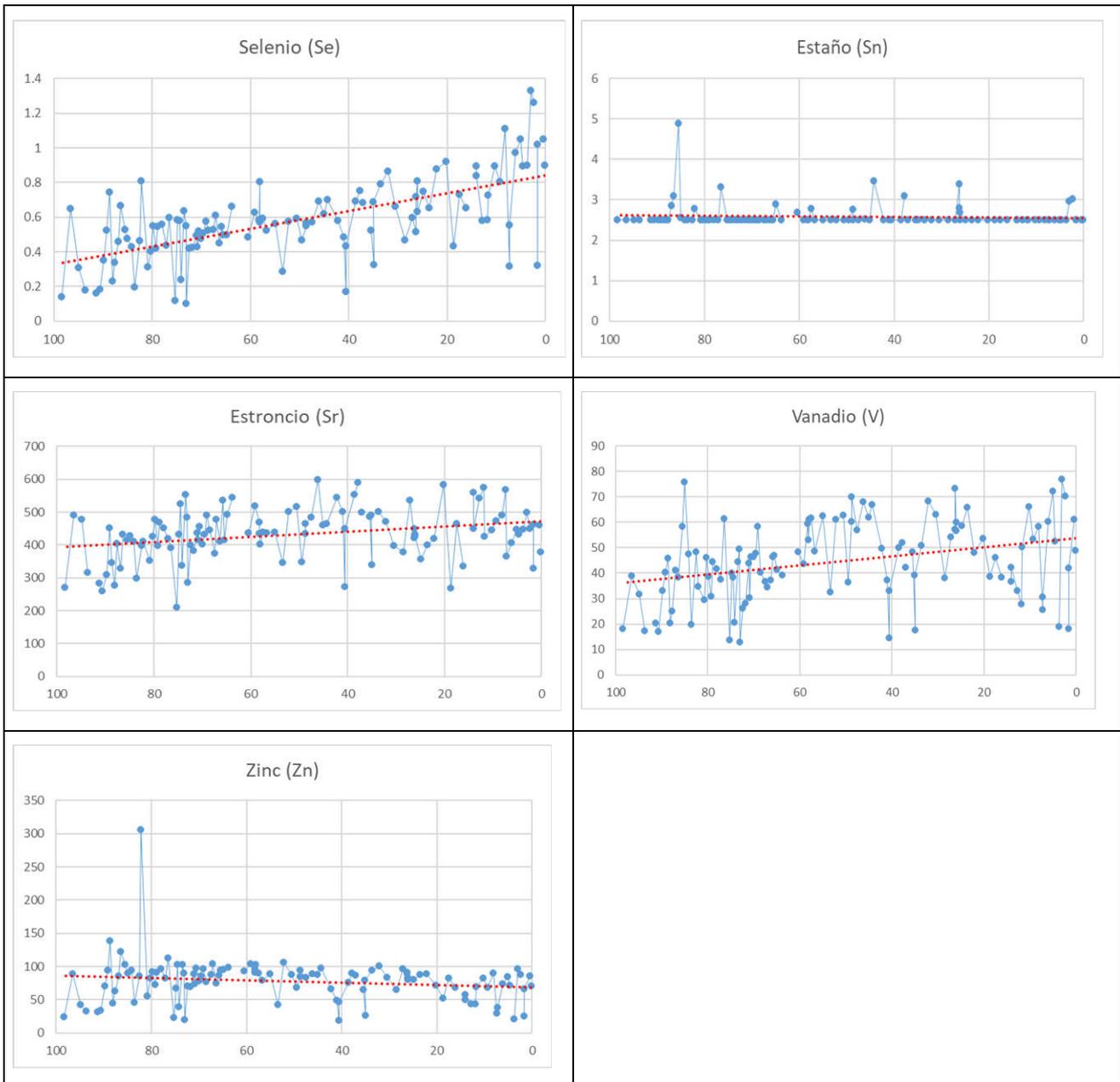
**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



Nota: Para la realización de las gráficas los valores inferiores al límite de detección se han hecho iguales al mismo. Esto es especialmente relevante en el caso de Hg, Mo y Sn.

Figura 47. Tendencias concentraciones de metales

Dado que no existen unos estándares normativos para evaluar la contaminación en sedimentos, se han usado para identificar la posible contaminación por metales, los valores

guía procedentes de los siguientes documentos que se relaciona y que se recogen de forma completa en el Anejo 7.6:

- MAM-2002. Valores guía propuestos para proteger la vida acuática. Recopilación de valores guía de contaminación en sedimento y biota para sustancias peligrosas. Documento interno. Ministerio de Medio Ambiente 2002.
- W-2003. Recommended sediment quality guideline values for metals and associated levels of concern to be used in doing assessment of sediment quality. Consensus-based sediment quality guidelines. Recommendations for use and application. Interim guidances. Developed by the contaminated sediment standing team. Wisconsin department of natural resources. 2003
- EPA-2006. Freshwater Sediment Screening Benchmarks. EPA Region III BTAG. Environmental Protection Agency. 2006
- NY-2014. Freshwater sediment guidance values. Screening and assessment of contaminated sediment. New York State Department of Environmental Conservation. Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Bureau of Habitat. 2014

Plata (Ag)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Plata	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 1.6 mg/kg	1.6-1.9 mg/kg	1.9-2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plata	Benchmark 2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Plata	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1 – 2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Todas las muestras por debajo de 1 mg/kg

Aluminio (Al)

No se han hallado valores guía para el Aluminio

Arsénico (As)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Arsénico	3-33 mg/kg	Canadá
		3 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		16.6 - 100 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Arsénico	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 2 mg/kg	2-13,5 mg/kg	13,5-25 mg/kg	>33mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Arsénico	Benchmark 9.8 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Arsénico	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 10 mg/kg	10-33 mg/kg	>33mg/kg

Existe una muestra aislada que arroja un valor máximo de 21.6 mg/kg. Todas se encuentran por debajo de 15 mg/kg, y la mayor parte en torno a los 10 mg/kg, mediana en 9.3 mg/kg, por lo que el conjunto de las muestras se situarían en el rango bajo de los valores guía.

Cadmio (Cd)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cadmio	0.2-10 mg/kg	Canadá
		0.58 -12 mg/kg	Estados Unidos
		1.4 - 30 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cadmio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.99 mg/kg	0.99-3 mg/kg	3-5 mg/kg	>5 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
--------	-----------	-------

EPA-2006	Cadmio	Benchmark 0.99 mg/kg
----------	--------	-------------------------

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cadmio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1-5 mg/kg	>5 mg/kg

La muestra MAM-97 ha dado como resultado una concentración de 1.43 mg/kg. Se trata de un valor aislado y divergente del resto. Todas las demás se encuentran bastante por debajo de 1 mg/kg (mediana 0.236 mg/kg).

Cobalto (Co)

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobalto	Benchmark 50 mg/kg

Todos los valores registrados por debajo de 11 mg/kg

Cromo (Cr)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cromo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 43 mg/kg	43-76.5 mg/kg	76.5-110 mg/kg	>110 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cromo	Benchmark 43.4 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cromo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 43 mg/kg	43-110 mg/kg	>110 mg/kg

34 muestras de 114 han dado como resultados valores superiores a 43 mg/kg, siendo el máximo registrado de 56,1 mg/kg, mediana de 38 mg/kg. Con carácter general estamos en el rango bajo de los valores guía disponibles. La distribución de los valores de mayor concentración es homogénea a lo largo del embalse.

Cobre (Cu)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cobre	16-197 mg/kg	Canadá
		16 - 840 mg/kg	Estados Unidos
		8.4 - 400 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cobre	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 32 mg/kg	32-91 mg/kg	91-150 mg/kg	>150 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobre	Benchmark 31.6 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cobre	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 32 mg/kg	32-150 mg/kg	>150 mg/kg

Todos los valores hallados se encuentran por debajo de 30 mg/kg.

Hierro (Fe)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Hierro	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 20000 mg/kg	20000-30000 mg/kg	30000-40000 mg/kg	>40000 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Hierro	Benchmark 20000 mg/kg

La mayoría de las muestras, 73 de 114 han dado como resultados valores superiores a 20000 mg/kg, siendo el máximo registrado de 35900 mg/kg, mediana de 21600 mg/kg. Solo 2 valores por encima de 30000. Con carácter general estamos en el rango medio-bajo de los valores guía disponibles. La distribución es homogénea a lo largo del embalse. El hierro no se encuentra en las listas de sustancias prioritarias o preferentes.

Mercurio (Hg)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Mercurio	0.05-2 mg/kg	Canadá
		0.1 – 2.7 mg/kg	Estados Unidos
		0.12 - 15 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Mercurio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.18 mg/kg	0.18-0.64 mg/kg	0.64-1.1 mg/kg	>1.1 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Mercurio	Benchmark 0.18 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Mercurio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 0.2 mg/kg	0.2-1 mg/kg	>1 mg/kg

Un único valor registrado por encima de 0.1 mg/kg, límite de detección. Este valor es de 0.151 mg/kg y corresponde a la muestra MAM-97.

Manganeso (Mn)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Manganeso	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 460 mg/kg	460-780 mg/kg	780-1100 mg/kg	>1100 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Manganeso	Benchmark 460 mg/kg

El valor máximo registrado es de 466 mg/kg, y todos los demás se encuentran por debajo. Mediana 322 mg/kg.

#### Molibdeno (Mo)

No se han hallado valores guía para el molibdeno, pero solo 7 muestras han registrado valores por encima de límite de detección situado en 1 mg/kg, una de ellas la MAM-62A con un valor extrañamente alto y divergente de todos los demás (6.27 mg/kg). El resto de parámetros de esta muestra están alineados con el conjunto.

#### Níquel (Ni)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Níquel	16 - 75 mg/kg	Canadá
		5 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		8 - 100 mg/kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Níquel	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 23 mg/kg	23 - 36 mg/kg	36 - 49 mg/kg	> 49 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Níquel	Benchmark 22.7 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Níquel	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 23 mg/kg	23 - 49 mg/kg	>49 mg/kg

De las 114 muestras, 47 arrojan valores superiores a 23 mg/kg, pero todas se encuentran por debajo de 30.1 mg/kg (máximo 30 mg/kg, mediana 22.1 mg/kg). Con carácter general se sitúan en la parte baja de los valores guía.

Plomo (Pb)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Plomo	23 – 250 mg/kg	Canadá
		31 – 720 mg/kg	Estados Unidos
		70 - 160 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Plomo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 36 mg/kg	36 - 83 mg/kg	83 - 130 mg/kg	> 130 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plomo	Benchmark 35.8 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Plomo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 36 mg/kg	36 -130 mg/kg	>130 mg/kg

Hay dos muestras con valores significativamente altos. Una es la MAM-97 con un valor de 93.1 mg/kg, y la otra es la MAM-107, a unos 6,5 km aguas arriba, con 88,4 mg/kg. El resto de muestras se encuentran por debajo de 30 mg/kg, excepto dos que se sitúan entre 30 y 40 mg/kg. Las muestras MAM-97 y MAM-107 tienden a arrojar valores de concentración en el resto de metales superiores al conjunto. En cualquier caso, son dos puntos aislados y estarían en un rango medio.

Antimonio (Sb)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Antimonio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 2 mg/kg	2 -13.5 mg/kg	13.5 - 25 mg/kg	> 25 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Antimonio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de antimonio es 1.54 mg/kg y la mediana se sitúa en 0,51 mg/kg.

#### Selenio (Se)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Selenio	5 mg/kg	Canadá
		0.95 – 1.73 mg/kg	Estados Unidos
			Europa

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Selenio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de selenio 1.33 mg/kg. Hay 7 muestras por encima de 0.95 mg/kg, y todas ellas se sitúan a entre la presa y 8 km aguas arriba.

#### Estaño (Sn)

No se han hallado valores guía para el estaño, pero solo 18 muestras de 114 han registrado valores por encima de límite de detección situado en 2.5 mg/kg. El máximo registrado es de 4.88. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

#### Estroncio (Sr)

No se han hallado valores guía para el estroncio. Todas las muestras en valores bastante homogéneos. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

#### Vanadio (V)

No se han hallado valores guía para el vanadio. Sin grandes divergencias entre muestras. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

Zinc (Zn)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Zinc	100 – 820 mg/kg	Canadá
		50 – 1300 mg/kg	Estados Unidos
		95.4 – 2500 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Zinc	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 120 mg/kg	120 - 290 mg/kg	290 - 460 mg/kg	> 460 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Zinc	Benchmark 121 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Zinc	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 120 mg/kg	120 -460 mg/kg	>460 mg/kg

Una muestra aislada, la MAM-97, ha arrojado un valor de 306 mg/kg, pero todas las demás, se sitúan por debajo de 120 mg/kg, excepto dos, que están en la franja 120-140 mg/kg.

\*\*\*\*

La conclusión de todo lo anterior es que la presencia de metales en los sedimentos, aunque más elevada que la encontrada en lo que podría considerarse las condiciones locales del terreno de la zona, se halla en el rango bajo de los valores guía disponibles, por lo que puede descartarse contaminación por metales en los sedimentos. Dentro de los niveles detectados, los más altos se encuentran en As, Cr y Ni.

La muestra MAM-97 situada en el pk 82, es divergente y arroja valores significativamente más elevados, situándose en algunos elementos como Zn o Pb en rangos que podrían alertar de posible contaminación, pero el hecho de tratarse de un caso aislado limita su relevancia

\*\*\*\*

C) CONTENIDO EN COMPUESTOS ORGÁNICOS

De los contaminantes orgánicos analizados (PCB, DDT, HCH, HBCDD y PBDE) todas las muestras excepto dos han quedado por debajo de los límites de detección de los equipos analíticos.

Esas dos muestras han dado positivo en PCBs con los siguientes valores:

**Tabla 15. Contenido en PCBs.**

Identificación	PCB018 mg/kg ms	PCB028+31 mg/kg ms	PCB044 mg/kg ms	PCB052 mg/kg ms	PCB101 mg/kg ms	PCB118 mg/kg ms	PCB138 mg/kg ms	PCB149 mg/kg ms	PCB153 mg/kg ms	PCB180 mg/kg ms	PCBs suma mg/kg ms
MAM-97	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0122	<0.01	<0.01	<0.02
MAM-107	<0.01	<0.02	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.0117	0.0148	0.0140	0.0117	0.0522

De forma similar a los metales, los valores guía disponibles son:

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Total PCBs	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.06 mg/kg	0.06 – 0.368 mg/kg	0.368 - 676 mg/kg	> 676 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	PCBs, total	Benchmark 0.0598 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Total PCB	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 0.1 mg/kg	0.1 -1 mg/kg	>1 mg/kg

Los valores detectados en estas dos muestras se encuentran por debajo de los valores guía, pudiendo afirmar que no se ha hallado contaminación de los compuestos orgánicos analizados.

### 5.1.3 Sondeos

Dada la necesidad de realizarlos sobre sedimentos emergidos, los sondeos se han ejecutado en la cola del embalse (entre los pk 66 y 95) aprovechando el descenso del nivel del agua en el verano. Esta zona coincide con la zona de mayor acumulación de sedimentos.

Son 20 los sondeos llevados a cabo entre los meses de agosto y septiembre de 2022. Dado que en 2011 se realizaron 10 sondeos por parte de la empresa Control de Obra Civil, se ha ejecutado una parte de los mismos en sus proximidades para realizar un estudio comparativo cuyo detalle se puede consultar en el anejo 7.2.5. El resto de ubicaciones han tratado de caracterizar toda la cola y en particular las zonas con mayores acumulaciones de sedimentos conforme la batimetría, aunque siempre con las limitaciones de los accesos para la maquinaria y de la capacidad portante del terreno. Las características de los sedimentos; finos, muy plásticos y con gran contenido de humedad, no siempre permitían el firme asentamiento de la maquinaria.

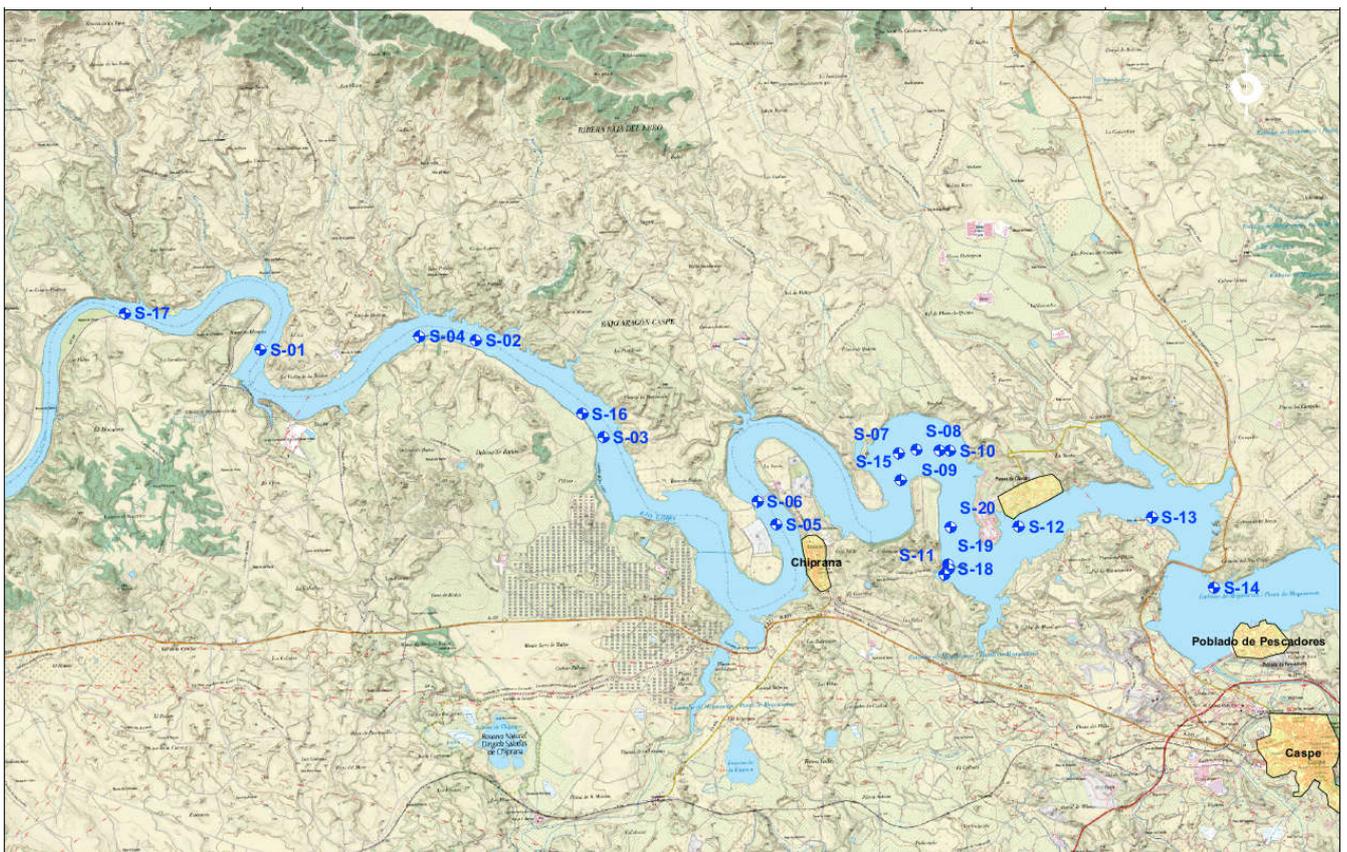


Figura 48. Sondeos ejecutados en el embalse de Mequinenza.

Para la realización de los sondeos se ha utilizado una máquina Boardlongear DB-520 sobre orugas, transportada sobre un camión de dos ejes. La perforación se ha llevado a cabo a rotación con recuperación de testigo, obteniendo muestras inalteradas cada 2 metros, aproximadamente, o al detectar cambio significativo de material. En algunos casos, ha sido necesaria la toma de muestras alteradas, bien por la presencia de gravas que no han permitido la hincada de la muestra inalterada o, más frecuentemente, por la presencia de sedimento saturado que permite la hincada de la toma-muestras, pero durante la ascensión de la batería de perforación el material cae cediendo a la gravedad y a la viscosidad que confiere el agua. Según se ha tomado un tipo u otro se han nombrado las muestras como MI (Muestra Inalterada), o MA (Muestra Alterada).



Figura 49. Máquina de sondeos trabajando en S-08.

A continuación, se detalla la relación de muestras obtenidas en los sondeos:

**Tabla 16. Relación muestras obtenidas en sondeos**

Sondeos	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06
<b>S-01</b>	MI 1-1,6	MI 3-3,6	MI 6-6,6			

Sondeos	M-01	M-02	M-03	M-04	M-05	M-06
S-02	MI 0,6- 1,2	MI 3-3,6	MI 5,1-5,7	MI 7,2-7,8		
S-03	MI 1,5- 2,1	MI 3,1-3,6	MI 5,7-6,3	MI 7,8- 8,4		
S-04	MI 2-2,6	MI 4,1-4,7	MI 6,2-6,8	MI 8,1-8,7		
S-05	MI 2-2,6	MI 4,6-5.2	MI 7,5-8,1			
S-06	MI 2-2,6	MI 5,4-6				
S-07	MI 0,6-1-2	MI 2,6- 3,5	MI 4,8-5,4	MI 6.9- 7.5	MA 9- 9,5	MA 11,6-12
S-08	MA 0- 0,3	TP 7,75- 8				
S-09	MA 2,4-5					
S-10	MI 2-2,4	MI 4,1-4,7				
S-11	MI 2- 2,6	MI 4,1- 4,7	MI 6,3- 6,9			
S-12	MI 2- 2,6	4,1- 4,7	MI 6,3- 6,9	MI 8,4- 9	MI 10,5- 11,1	
S-13	MI 2- 2,6	MI 4.1- 4.7				
S-14	MI 1,5- 1,7					
S-15	MI 1,5- 2,1	MI 3,6- 4,2	MI 5,7- 6,3	MI 7,8- 8,4	MA 9,9- 10,5	MA 12- 12,6
S-16	MI 2-2,6	MI 4,1- 4,7	MI 6,2- 6,8			
S-17	MI 2- 2,6	MI 4,1- 4,7	MI 6,2- 6,8			
S-18	MI 2- 2,6	MI 4,1- 4,7	MI 7- 7,6			
S-19	MI 2- 2,6	MI 4,1- 4,7	MI 6,3- 6,8	MA 7,0-8,0		
S-20	MI 1,5- 2,1	MI 3,6- 4,2	MI 5,7- 6,3	MA 6,5- 7,5		

En el anejo 7.2.3 se reflejan las columnas estratigráficas de cada uno de los sondeos. Las profundidades de los sondeos han oscilado entre los 8 y los 18 metros. Los espesores de sedimento fino, caracterizado como causado por la retención del embalse desde su puesta en explotación, han alcanzado un máximo de 10-12,5, siendo común en las zonas de mayor acumulación de sedimentos espesores de 8-10 metros (tabla 17).

**Tabla 17. Profundidades de los sondeos (h) y espesores de sedimento fino (h\_sed)**

	h	h_sed		h	h_sed
S-01	10.0	8.8	S-11	8.0	6.9
S-02	10.0	8.5	S-12	13.0	12.2
S-03	12.0	9.0	S-13	10.0	7.0
S-04	10.0	8.7	S-14	9.0	1.5
S-05	9.0	8.0	S-15	18.0	10.5
S-06	13.0	8.3	S-16	9.5	7.0
S-07	14.0	9.6	S-17	11.5	2.6
S-08	8.0	0.3	S-18	10.0	7.4
S-09	8.3	0.0	S-19	9.0	6.6
S-10	9.0	8.0	S-20	8.0	6.0

El estudio de las columnas estratigráficas permite observar que, de forma general, aparece un nivel de material granular sobre las gravas, más o menos rico en finos, sobre el que reposan sedimentos finos ricos en materia orgánica.

La comparación con los resultados de los sondeos de 2011 muestra una coherencia general, así como con las topografías y batimetrías previas, dentro de su limitada precisión.

#### **5.1.4 Resultados analíticos de las muestras de los sondeos**

##### **A) GRANULOMETRÍA. TEXTURA.**

Al igual que para el sedimento sumergido, para la caracterización de la textura de los sedimentos se ha utilizado el diagrama de Shepard 1954, conforme lo previsto en el pliego de prescripciones técnicas. Shepard clasifica la textura del sedimento de la siguiente forma: fracción de arcilla (<4  $\mu\text{m}$ ), fracción de limo (4-63  $\mu\text{m}$ ), fracción de arena (>63  $\mu\text{m}$ ).

Se han obtenido las texturas de 56 muestras procedentes de los sondeos. El diagrama ternario resultante de Shepard nos indica como en el caso del sedimento sumergido tomado en superficie, una textura principalmente limo-arcillosa, pero algo más variable dependiendo tanto de la ubicación (texturas más gruesas en los sondeos más extremos de la cola del embalse), como en profundidad (texturas más gruesas en las muestras más profundas).

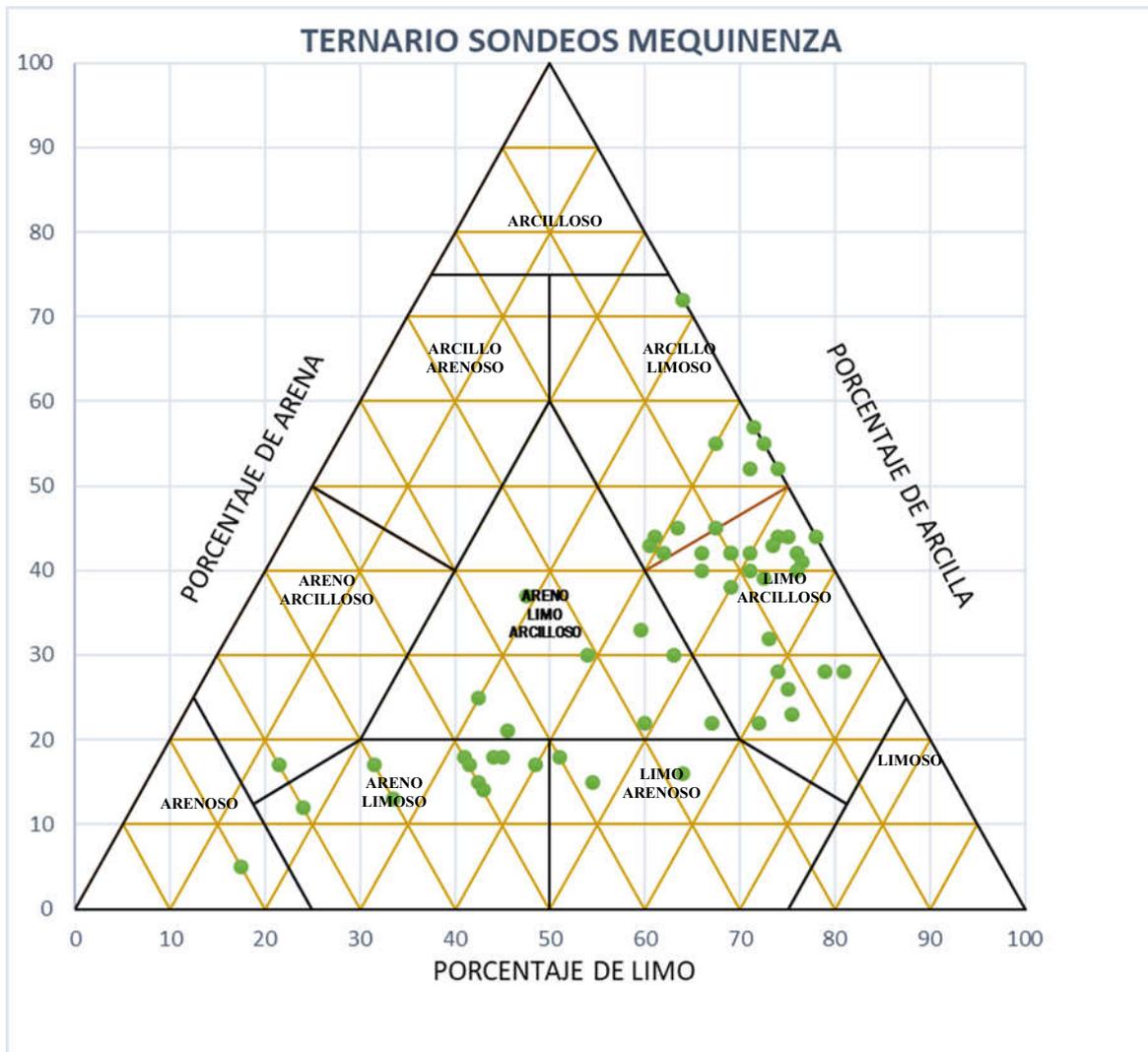


Figura 50. Diagrama ternario Shepard de las muestras de procedentes de los sondeos del embalse de Mequinenza

Con carácter general se obtienen texturas más gruesas en los materiales más profundos. Esto no sucede gradualmente, sino que se produce más bien de forma abrupta. Así, por ejemplo, en los sondeos más profundos, vemos como el porcentaje de arenas se incrementa abruptamente en los últimos tramos.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

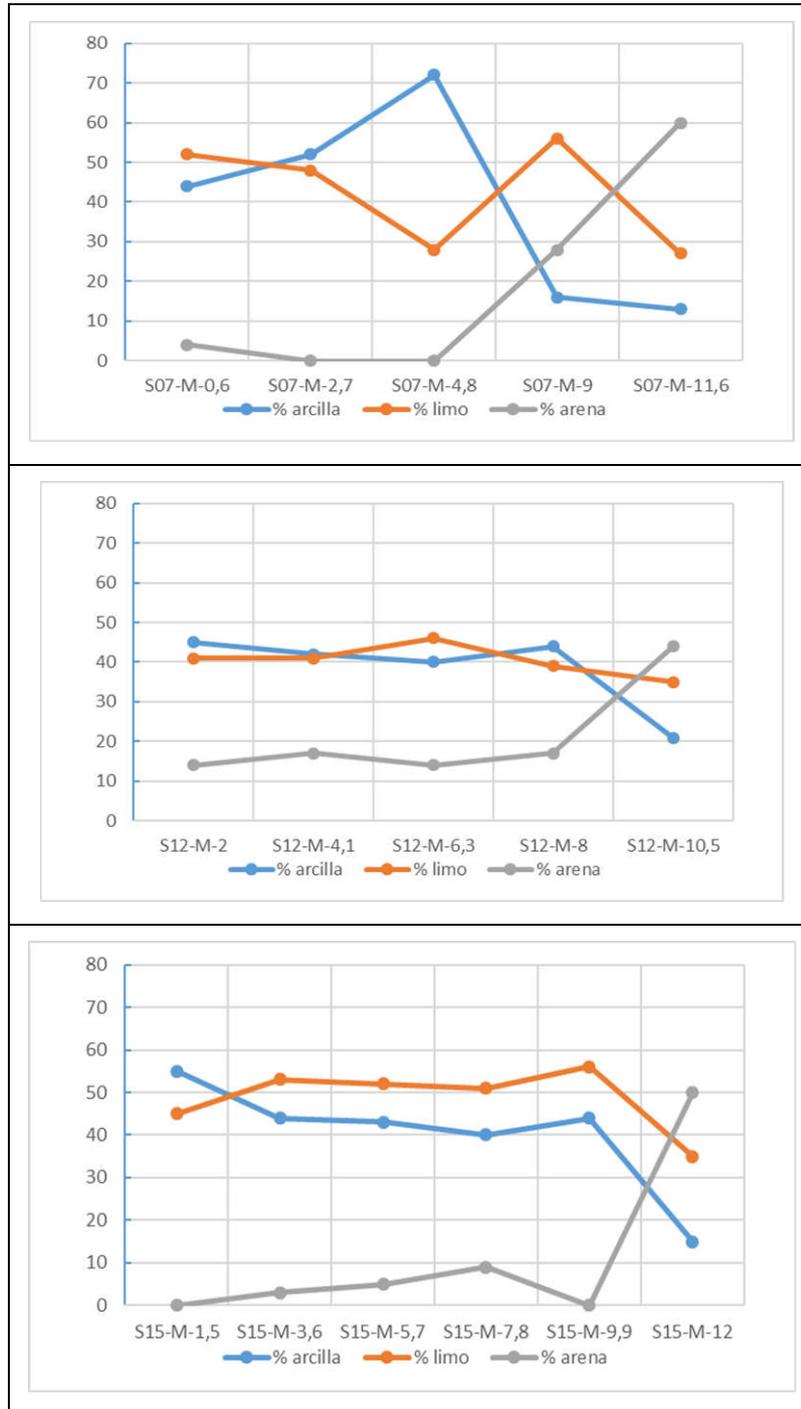


Figura 51. Texturas de las muestras de los sondeos S-07, S-12 y S-15 ordenadas según profundidad de extracción

Podría suponerse que tras la puesta en servicio del embalse hay dos episodios de sedimentación diferenciados, el primero; durante el llenado del embalse, en el que el río todavía posee energía suficiente para movilizar carga de arrastre y, por tanto, sedimento grueso. El segundo; cuando el río posee un régimen similar al actual, en el que se deposita principalmente sedimento fino de material en suspensión.

Pero también puede pensarse que estos cambios se deben a que no se trata propiamente de sedimento depositado por la retención del embalse, sino por el propio río antes de su existencia. El hecho de que estos mismos cambios abruptos se den en los parámetros químicos y el contenido de metales, parece apuntar más en esta dirección.

Ambos fenómenos, pueden, no obstante, ser igualmente ciertos.

## B) OTROS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

En el resto de parámetros básicos de carácter físico y químico de las 56 muestras de los sondeos, no encontramos grandes diferencias con las muestras de sedimento sumergido superficial. La densidad media en seco es muy similar: 2,3 kg/L. Se detecta una menor conductividad y mayor pH. En algún parámetro, como la materia orgánica, se aprecia el mismo cambio abrupto que en el referido anteriormente para los sondeos S-07, S-12 y S-15.

**Tabla 18. Estadística de parámetros físico-químicos sondeos.**

	Amonio (NH <sub>4</sub> -N) % N sms	Densidad g/ml	Carbonatos % CaCO <sub>3</sub> sms	Conductividad 25°C (1:5) µS/cm	Carbono orgánico total % sms	Materia orgánica total (calcinación) % sms
Media	0.002581	2.2782	32.0	572	1.655	2.85
Mediana	0.000245	2.3000	31.6	395	1.810	3.12
Máximo	0.023900	2.6900	42.0	2450	3.000	5.17
Mínimo	0.000060	1.9100	16.5	82	0.235	0.40
Desviación estándar	0.005446	0.1821	5.2	515	0.879	1.52

	Materia seca % smh	Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) mg N/kg ms	Nitrogeno kjeldahl (N) % sms	Nitrógeno orgánico (N) % sms	Nitrógeno total (N) % sms	Fósforo (P) % (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) % sms	pH (1:2,5) u. pH
Media	77.6	6.96	0.123	0.121	0.124	0.118	8.2
Mediana	79.8	2.30	0.100	0.100	0.100	0.112	8.3
Máximo	95.1	112.00	0.198	0.192	0.204	0.438	9.2
Mínimo	62.7	< 2.30	< 0.100	< 0.100	< 0.100	0.022	6.4
Desviación típica	8.9	16.95	0.030	0.027	0.031	0.075	0.5

Nota: Para la obtención de medias y desviación, los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

Cabe destacar la presencia de conchas de mejillón cebra (*Dreissena polymorpha*) y almeja asiática (*Corbicula fluminea*). Las segundas de gran tamaño superando los 10 cm, con gran cantidad de individuos tanto vivos como muertos.

En el área del sondeo S-12, Playas de Chacón, se observaron unas estructuras circulares, a modo de cráteres en el fango (figura 52). En principio se interpretaron como resultado de emanaciones de metano, pero los resultados de los análisis del sondeo S-12 no muestran una presencia de materia orgánica sustancialmente mayor que el resto de sondeos. Esta zona se sitúa en el antiguo lecho del río ahora colmatado, y en el que con la bajada de la cota del embalse se crea una laguna que se va desecando, por lo que también cabe la interpretación de que se trate de refugios de peces que quedan aislados y se entierran en el fango. También se ha sugerido la posibilidad de tratarse de pequeños ojos o surgencias que aparecen en estas zonas interiores de menor cota relativa, al producirse el drenaje subsuperficial del agua acumulada en los sedimentos.

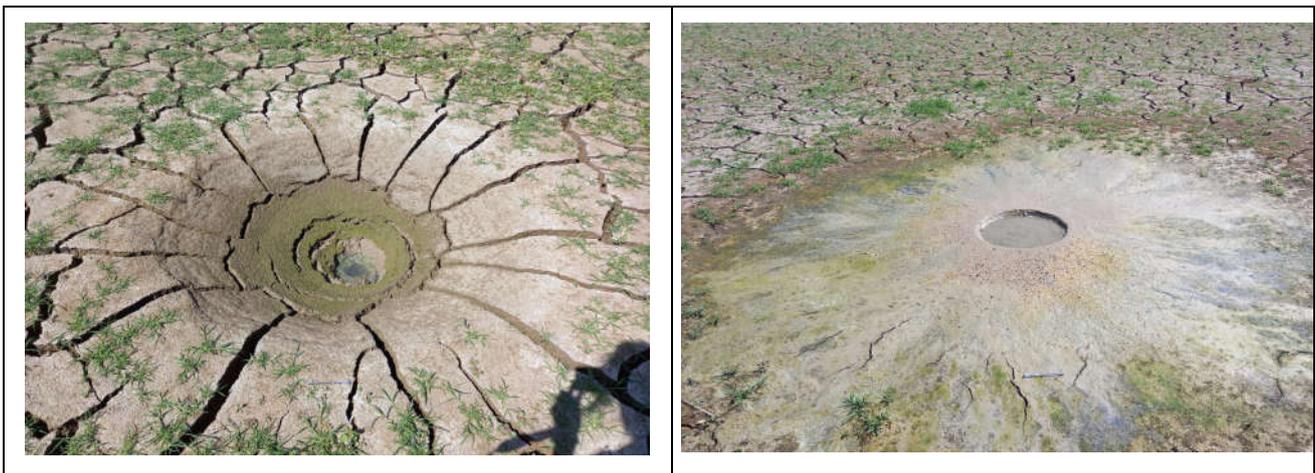


Figura 52. Estructuras circulares a modo de cráteres en el fango

### C) CONTENIDO DE METALES

De 50 muestras de las 56 se han obtenido concentraciones de metales (incluido el selenio pese a ser un no metal). Se aprecian pautas similares a las de los muestreos de sedimento sumergido, pero con una mayor dispersión y valores máximos más altos.

**Tabla 19. Estadística de contenido metálico en las muestras de sondeos.**

Elemento	Unidades	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación típica
Plata (Ag)	mg/kg ms	0.232	0.129	0.867	<0.1	0.170
Aluminio (Al)	mg/kg ms	26826	22800	88100	4260	14769
Arsénico (As)	mg/kg ms	10.188	8.730	39.900	3.900	5.175
Calcio (Ca)	% CaO sms	18.328	17.350	66.400	11.400	7.409
Cadmio (Cd)	mg/kg ms	0.343	0.256	1.530	<0.1	0.296
Cobalto (Co)	mg/kg ms	7.072	6.770	31.800	2.410	4.153
Cromo (Cr)	mg/kg ms	34.448	29.650	131.000	6.320	21.077
Cobre (Cu)	mg/kg ms	16.121	15.000	64.400	6.220	10.237
Hierro (Fe)	mg/kg ms	20013	17450	73100	6240	10118
Mercurio (Hg)	mg/kg ms	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.000
Potasio (K)	% K <sub>2</sub> O sms	0.879	0.738	2.830	0.134	0.495
Magnesio (Mg)	% MgO sms	1.951	1.910	6.590	0.386	1.047
Manganeso (Mn)	mg/kg ms	336	322	1240	147	154
Molibdeno (Mo)	mg/kg ms	1.787	<1	31.400	<1	4.360
Sodio (Na)	g/kg ms	0.631	0.574	3.180	0.070	0.501
Níquel (Ni)	mg/kg ms	20.3	17.5	80.5	4.6	11.6
Plomo (Pb)	mg/kg ms	22.9	17.3	105.0	4.4	18.8
Antimonio (Sb)	mg/kg ms	0.606	0.551	2.270	0.288	0.299
Selenio (Se)	mg/kg ms	0.358	0.256	1.700	<0.1	0.281
Estaño (Sn)	mg/kg ms	2.719	<2.5	4.460	<2.5	0.471
Estroncio (Sr)	mg/kg ms	416	389	1350	155	170
Vanadio (V)	mg/kg ms	39.3	33.3	133.0	8.0	21.1
Zinc (Zn)	mg/kg ms	81.5	65.6	349.0	14.2	63.4

Nota: Para la obtención de medias y desviación los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

Con carácter general, también se produce una reducción algo abrupta del contenido metálico cuando alcanzamos materiales más profundos, corroborando que dichos materiales se corresponden más bien con el sedimento fluvial original y no con el depositado por la retención del embalse. Esto se aprecia con claridad en los sondeos más profundos S-07, S-12 y S15.

Por lo demás, no se aprecian tendencias que evidencien patrones en los contenidos metálicos del testigo según el periodo temporal de deposición, sino más bien homogeneidad en las concentraciones. Las figuras 53, 54 y 55 ilustran lo anterior. No se ha incluido el Hg en la representación por quedar todas las muestras por debajo del límite de detección.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

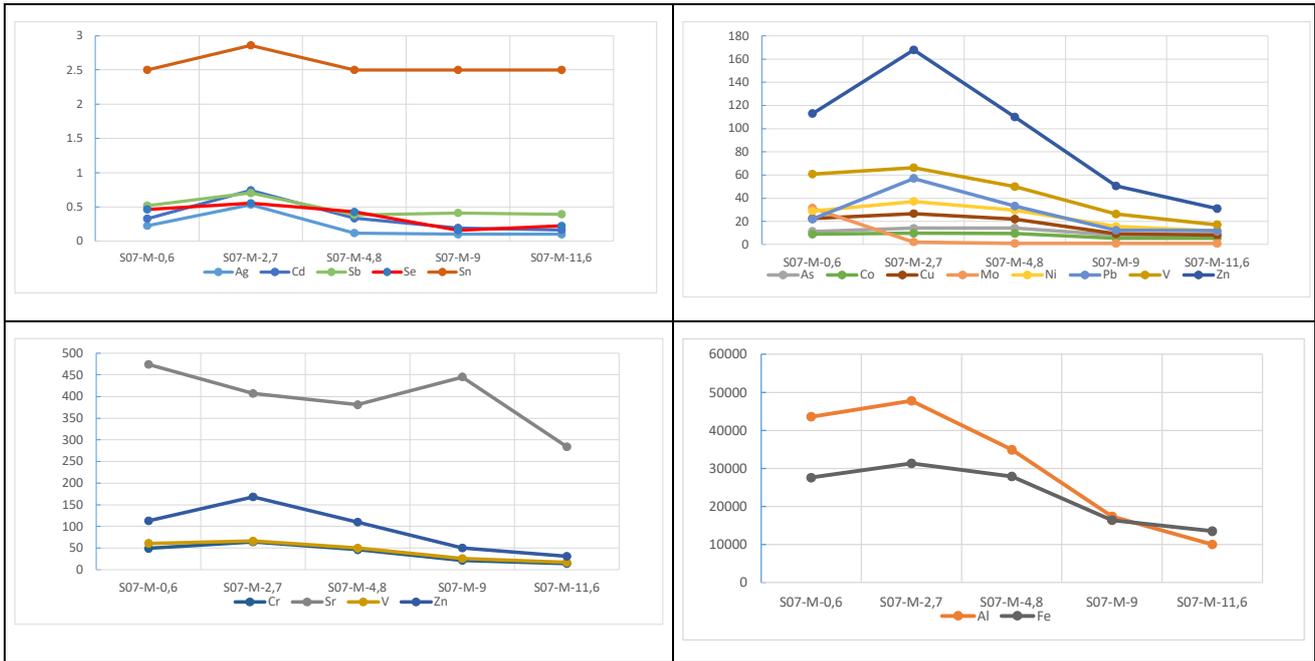


Figura 53. Contenido metálico en mg/kg de materia seca de las muestras del sondeo S-07 ordenadas según profundidad de extracción

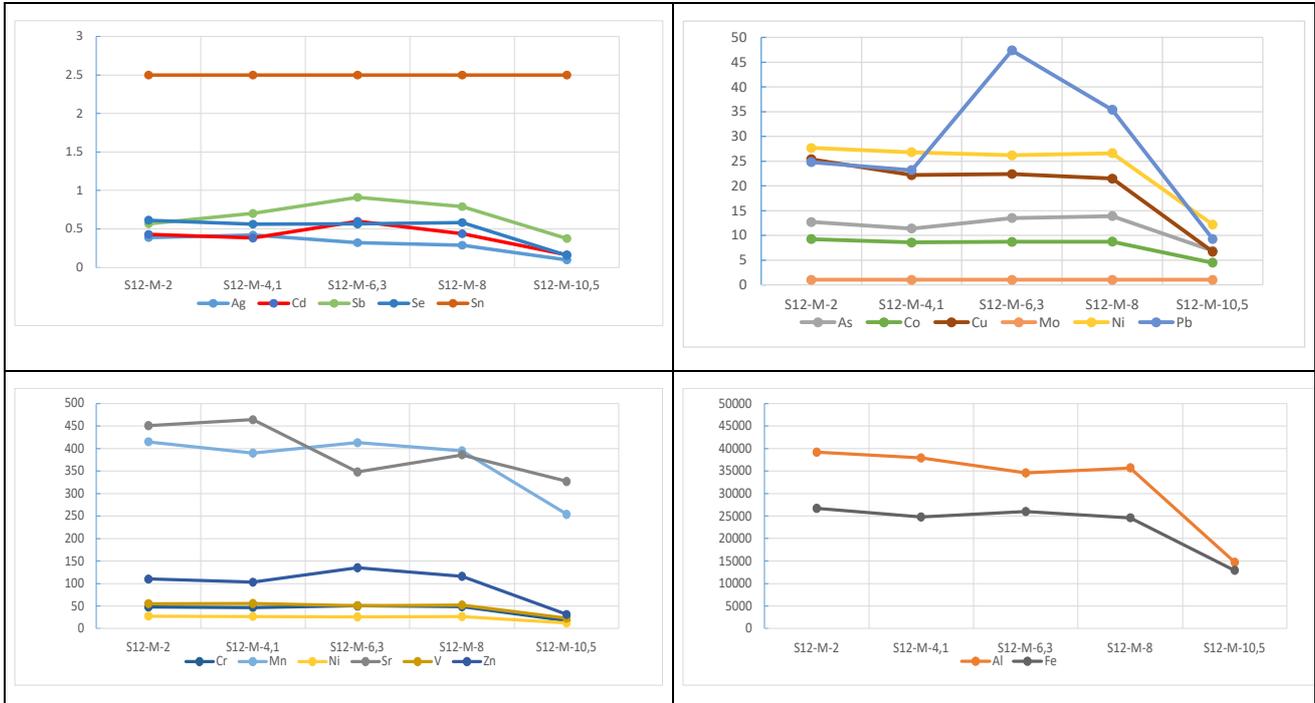


Figura 54. Contenido metálico en mg/kg de materia seca de las muestras del sondeo S-12 ordenadas según profundidad de extracción

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

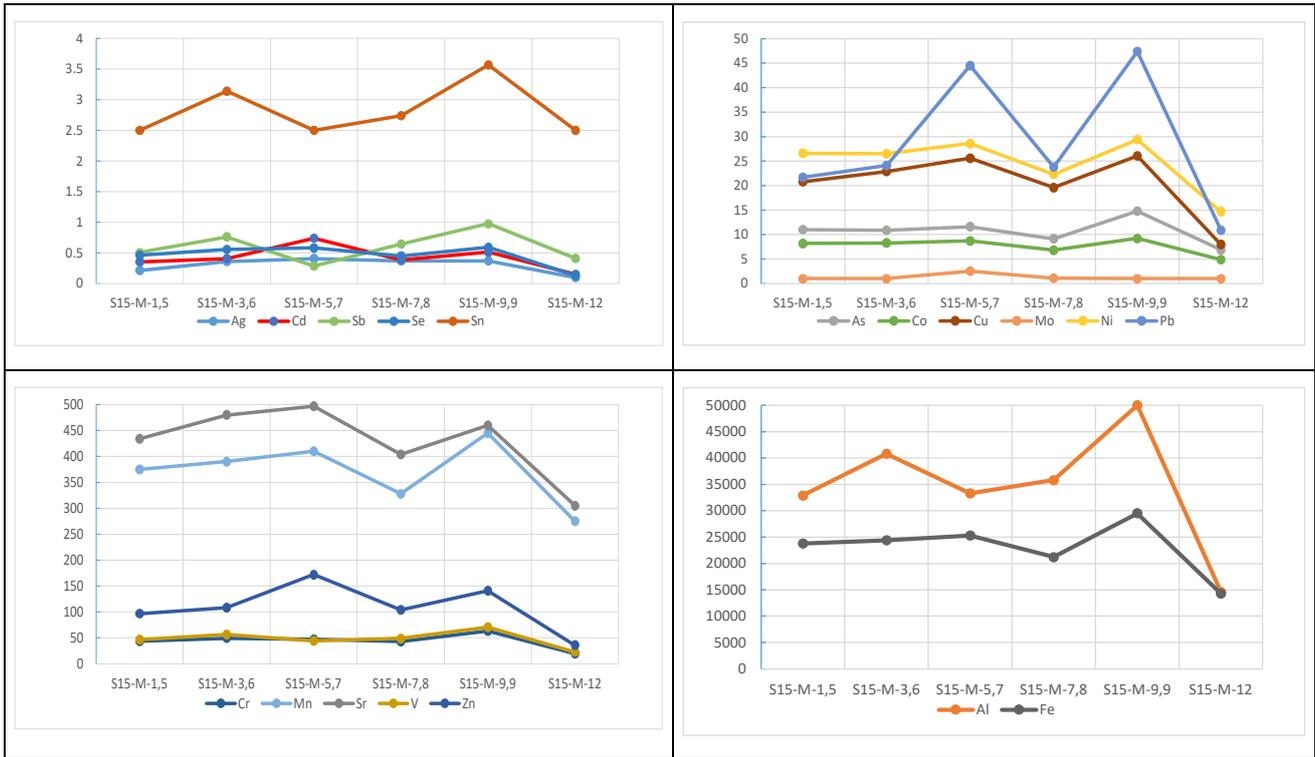


Figura 55. Contenido metálico en mg/kg de materia seca de las muestras del sondeo S-15 ordenadas según profundidad de extracción

De la misma forma que en el caso de los sondeos sumergidos, se ha procedido a evaluar si estos contenidos metálicos podrían constituir niveles contaminantes.

Plata (Ag)

Fuente	Sustancia	Rango			
		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
W-2003	Plata	< 1.6 mg/kg	1.6-1.9 mg/kg	1.9-2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plata	Benchmark 2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
--------	-----------	-------

NY-2014	Plata	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1 – 2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Todas las muestras por debajo de 1 mg/kg

#### Aluminio (Al)

No se han hallado valores guía para el Aluminio. S-14 tiene la concentración más elevada. El aluminio no se encuentra entre los contaminantes prioritarios o preferentes.

#### Arsénico (As)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Arsénico	3-33 mg/kg	Canadá
		3 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		16.6 - 100 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
		Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
W-2003	Arsénico	< 2 mg/kg	2-13,5 mg/kg	13,5-25 mg/kg	>33mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Arsénico	Benchmark 9.8 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Arsénico	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 10 mg/kg	10-33 mg/kg	>33mg/kg

Existe una muestra aislada que arroja un valor máximo de 39.9 mg/kg, el siguiente valor se encuentra ya en 18.1 mg/kg y todas las demás por debajo de 15 mg/kg, con la mediana en 8.7 mg/kg, por lo que el conjunto de las muestras se situarían en el rango bajo de los valores guía, excepto la citada primero, que corresponde a la única muestra del corto sondeo S-14, que aisladamente daría valores de contaminación. Seguidamente veremos, que esto mismo sucede

con otros componentes metálicos en este mismo sondeo S-14 que suele arrojar resultados divergentes.

Cadmio (Cd)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cadmio	0.2-10 mg/kg	Canadá
		0.58 -12 mg/kg	Estados Unidos
		1.4 - 30 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cadmio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.99 mg/kg	0.99-3 mg/kg	3-5 mg/kg	>5 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cadmio	Benchmark 0.99 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cadmio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1-5 mg/kg	>5 mg/kg

La muestra del sondeo S-14 ha dado como resultado una concentración de 1.53 mg/kg. Todas las demás se encuentran bastante por debajo de 1 mg/kg (mediana 0.256 mg/kg).

Cobalto (Co)

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobalto	Benchmark 50 mg/kg

S-14 en 31.8 mg/kg, pero el resto de valores por debajo de 10 mg/kg.

Cromo (Cr)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cromo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 43 mg/kg	43-76.5 mg/kg	76.5-110 mg/kg	>110 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cromo	Benchmark 43.4 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cromo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 43 mg/kg	43-110 mg/kg	>110 mg/kg

18 muestras de 50 han dado como resultados valores superiores a 43 mg/kg, siendo el máximo registrado de 131.00 mg/kg, de nuevo S-14, y no hay muestras por encima de 76.5 o 110 mg/kg. La mediana de 29.65 mg/kg. Quitando S-14, con carácter general estamos en el rango bajo de los valores guía disponibles.

#### Cobre (Cu)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cobre	16-197 mg/kg	Canadá
		16 - 840 mg/kg	Estados Unidos
		8.4 - 400 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cobre	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 32 mg/kg	32-91 mg/kg	91-150 mg/kg	>150 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobre	Benchmark 31.6 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cobre	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 32 mg/kg	32-91 mg/kg	>150 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cobre	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 32 mg/kg	32-150 mg/kg	>150 mg/kg

Todos los valores hallados se encuentran por debajo de 30 mg/kg, excepto los hallados en la muestra de S-14 que alcanzan los 64 mg/kg.

### Hierro (Fe)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Hierro	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 20000 mg/kg	20000-30000 mg/kg	30000-40000 mg/kg	>40000 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Hierro	Benchmark 20000 mg/kg

Casi la mitad de las muestras, 33 de 50 han dado como resultados valores superiores a 20000 mg/kg, siendo el máximo registrado de 73100 mg/kg en S-14, la siguiente más alta 32500 mg/kg, mediana de 17450 mg/kg. Solo 3 valores por encima de 30000. Con carácter general estamos en el rango medio-bajo de los valores guía disponibles, excepto S-14. El hierro no se encuentra en las listas de sustancias prioritarias o preferentes.

### Mercurio (Hg)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Mercurio	0.05-2 mg/kg	Canadá
		0.1 – 2.7 mg/kg	Estados Unidos
		0.12 - 15 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Mercurio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.18 mg/kg	0.18-0.64 mg/kg	0.64-1.1 mg/kg	>1.1 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Mercurio	Benchmark 0.18 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Mercurio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 0.2 mg/kg	0.2-1 mg/kg	>1 mg/kg

Todos los valores registrados por debajo del límite de detección de 0.1 mg/kg.

#### Manganeso (Mn)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Manganeso	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 460 mg/kg	460-780 mg/kg	780-1100 mg/kg	>1100 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Manganeso	Benchmark 460 mg/kg

El valor máximo registrado es de 1240 mg/kg (S-14). Todos los demás por debajo de 474 mg/kg. Mediana 322 mg/kg.

#### Molibdeno (Mo)

No se han hallado valores guía para el molibdeno, pero solo 9 muestras han registrado valores por encima de límite de detección situado en 1 mg/kg, una de ellas de nuevo S-14 con un valor considerablemente alto y divergente de todos los demás (31.4 mg/kg). El resto de parámetros de esta muestra están alineados con el conjunto.

#### Níquel (Ni)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Níquel	16 - 75 mg/kg	Canadá
		5 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		8 - 100 mg/kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Níquel	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 23 mg/kg	23 - 36 mg/kg	36 - 49 mg/kg	> 49 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Níquel	Benchmark 22.7 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Níquel	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 23 mg/kg	23 - 49 mg/kg	>49 mg/kg

De las 50 muestras, 20 arrojan valores superiores a 23 mg/kg, pero todas se encuentran por debajo de 37.2 mg/kg (mediana 17.5 mg/kg), excepto S-14 con 80.5. Con carácter general se sitúan en la parte baja de los valores guía.

#### Plomo (Pb)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Plomo	23 – 250 mg/kg	Canadá
		31 – 720 mg/kg	Estados Unidos
		70 - 160 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Plomo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 36 mg/kg	36 - 83 mg/kg	83 - 130 mg/kg	> 130 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plomo	Benchmark 35.8 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Plomo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 36 mg/kg	36 -130 mg/kg	>130 mg/kg

42 muestras de 50 se encuentran por debajo de 36 mg/kg, y solo una por encima de 83 mg/kg, siendo la correspondiente a S-14 con 105 mg/kg.

#### Antimonio (Sb)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Antimonio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 2 mg/kg	2 -13.5 mg/kg	13.5 - 25 mg/kg	> 25 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Antimonio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de antimonio es 2.27 mg/kg (S-14), pero todos los demás por debajo de 2 mg/kg y la mediana se sitúa en 0,551 mg/kg.

#### Selenio (Se)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Selenio	5 mg/kg	Canadá
		0.95 – 1.73 mg/kg	Estados Unidos
			Europa

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Selenio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de selenio 1.7 mg/kg (S-14), y solo 2 7 muestras por encima de 0.95 mg/kg.

Estaño (Sn)

No se han hallado valores guía para el estaño, pero solo 12 muestras de 50 han registrado valores por encima de límite de detección situado en 2.5 mg/kg. El máximo registrado es de 4.46. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

Estroncio (Sr)

No se han hallado valores guía para el estroncio. Todas las muestras en valores bastante homogéneos excepto S-14. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

Vanadio (V)

No se han hallado valores guía para el vanadio. Sin grandes divergencias entre muestras salvo S-14. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

Zinc (Zn)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Zinc	100 – 820 mg/kg	Canadá
		50 – 1300 mg/kg	Estados Unidos
		95.4 – 2500 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Zinc	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 120 mg/kg	120 - 290 mg/kg	290 - 460 mg/kg	> 460 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Zinc	Benchmark 121 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Zinc	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 120 mg/kg	120 -460 mg/kg	>460 mg/kg

8 muestras de 50 presentan valores por encima de 120 mg/kg, y de nuevo S-14 presenta un máximo claro con 349 mg/kg. Mediana de 65.6 mg/kg.

\*\*\*\*

La conclusión de todo lo anterior es que la presencia de metales en los sedimentos, aunque más elevada que la encontrada en el que podría considerarse como las condiciones locales previas al embalse, se halla en el rango bajo de los valores guía disponibles, por lo que puede descartarse de forma general contaminación por metales en los sedimentos.

En el sondeo S-14 (figura 50) se han encontrado valores discordantes, con resultados más elevados de concentración de prácticamente todos los metales, y en algunos de ellos con valores que podrían sugerir contaminación. La muestra se obtuvo entre 1,5-1,7 m. En todos los muestreos de sedimento sumergido de los alrededores los valores obtenidos son homogéneos entre sí, coherentes con el resto de los obtenidos y no se aproximan de ningún modo a los de S-14. No se halla una explicación clara para estos valores. El único hecho diferencial es que se encuentra con acceso relativamente fácil y cercano desde la carretera. En cualquier caso, se trata de un punto aislado que no altera la conclusión general.



Figura 56. Ubicación de sondeo S-14 y muestreos en sedimento sumergido

\*\*\*\*

### C) CONTENIDO EN COMPUESTOS ORGÁNICOS

De los contaminantes orgánicos (PCB, DDT, HCH, HBCDD y PBDE) todas las 50 muestras analizadas han quedado por debajo de los límites de detección de los equipos analíticos, incluidas las correspondientes al S-14.

## **5.2 EMBALSE DE RIBARROJA. RESEÑA SEDIMENTOLÓGICA**

### **5.2.1 Toma de muestras de sedimento sumergido y sondeos**

En el embalse de Ribarroja se han obtenido un total de 54 muestras de sedimento sumergido. Para la ubicación de los puntos de muestreo se ha utilizado la zonificación de las acumulaciones de sedimentos proporcionada por el Instituto Flumen de la UPC de 2022. Por ello se ha dispuesto una mayor densificación de puntos de muestreo en la desembocadura de Segre y Matarraña, así como en las cercanías de la presa. Estas zonas concentran la mayoría de los sedimentos depositados y se prevé realizar en el futuro pruebas para su movilización.

A diferencia del caso de Mequinenza, en el caso de Ribarroja existe un estudio ya citado del Grupo Flumen-UPC de 2009, en el que realizaron 16 muestreos y análisis de sedimento sumergido. Para garantizar una adecuada comparabilidad se han hecho coincidir 16 de los puntos de este trabajo con aquellos. La coincidencia no es perfecta, puesto que no se han podido obtener coordenadas de aquellos muestreos de 2009 y se ha limitado a situarlas en el mismo área.

Las muestras se han denominado como RIM-XX. En algunas de las muestras se añade una letra, RIM-XX-A, coincidente con la denominación bajo letras de 2009.

Se ha dispuesto también un muestreo fotográfico sobre las gravas de la desembocadura del Matarraña, coincidente además con los sondeos SR-1 y SR-2 realizados en estas mismas gravas.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

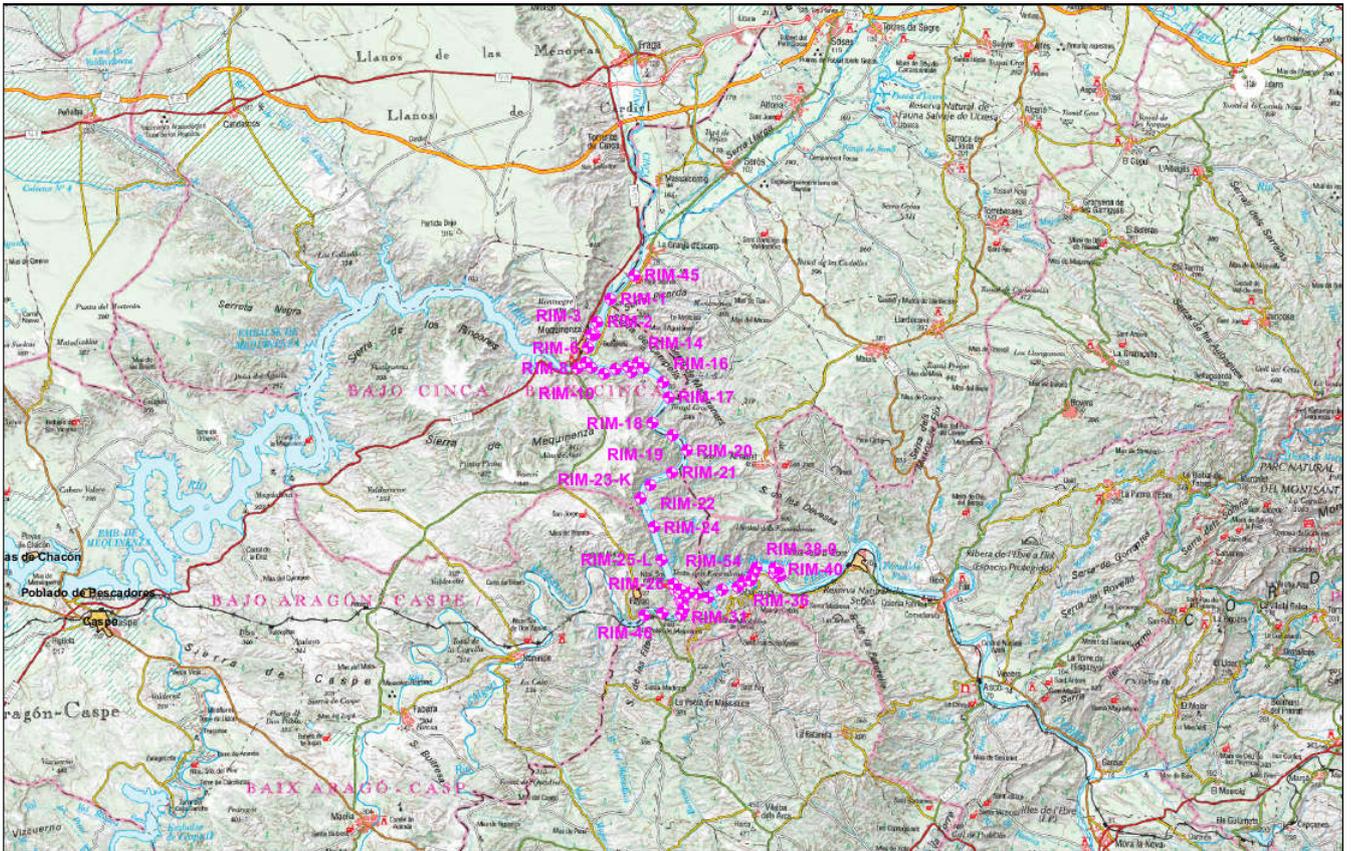


Figura 57. Muestras embalse de Ribarroja: RIM.

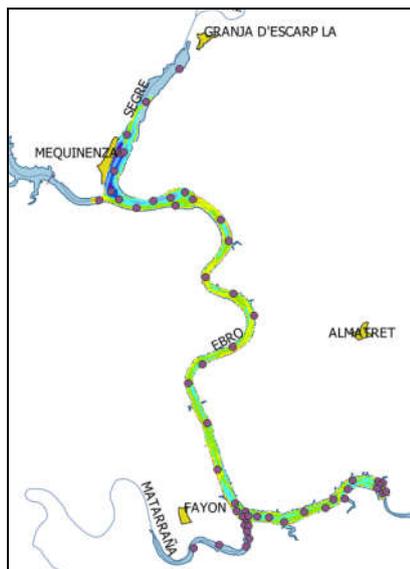


Figura 58. Zonificación de la acumulación de sedimentos facilitada por Insituto Flumen-UPC y ubicación de puntos de muestreo.

Los sondeos se llevan a cabo en el Matarraña, en la zona de cola del embalse donde el río todavía presenta dinámica natural y, en el río Ebro, donde se encontraba el antiguo pueblo de Fayón.

El embalse de Ribarroja mantiene un nivel muy estable y elevado, por lo que el acceso a sedimento emergido donde realizar sondeos resulta muy dificultoso. Su ejecución se ha realizado de dos formas. Dos de ellos en la desembocadura del Matarraña para dar información sobre los acarreo de grava y los otros ocho desde la orilla mediante un equipo Vibro-Corer operado desde una grúa.

Así, los sondeos SR-01 y SR-02 se realizan con la sonda INMAQ S-01 L, mediante rotación con recuperación de testigo continuo. En este punto, el material prospectado está compuesto principalmente por gravas, por lo que las únicas muestras que pueden tomarse corresponden a muestras alteradas de sedimento grueso.



**Figura 59. Máquina de sondeos trabajando en SR-01.**

El resto de sondeos debe realizarse con Vibro-Corer, puesto que resulta imposible acceder al lecho del río con otro tipo de maquinaria. Por este motivo, estas prospecciones se nombran como SVR-XX (Sondeo Vibro Ribarroja). Son ensayos de hinca, en los que una cabeza de vibración transmite el movimiento a un tubo de 3m, dentro del cual se encuentra el tomamuestras de PVC. El equipo debe alzarse desde la orilla con una grúa, para poder situarlo

en el lecho del río y para extraerlo. Al finalizar la hinca, bien porque se ha conseguido clavar todo el tubo o, porque se encuentra algún material que produce rechazo, se retira el vibro-Corer y se lleva a la orilla para extraer la muestra. De modo que se obtienen testigos continuos, pero al tener que cortar el tubo para revisar el contenido, la muestra que se obtiene es alterada. Supone un equipo adecuado para sedimentos finos, limos; arcillas y arenas.



Figura 60. Ejecución de vibro- corer SVR-07.

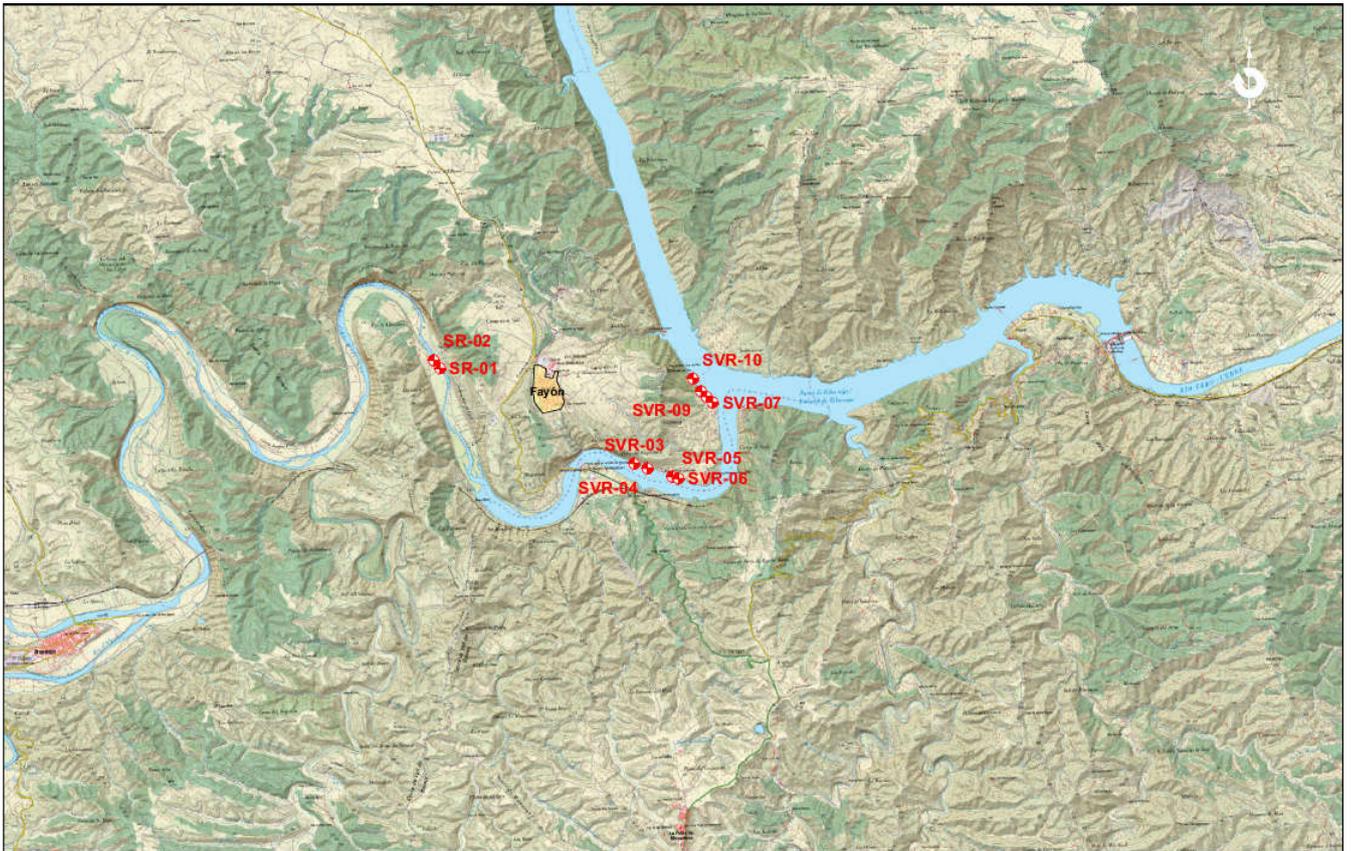


Figura 61. Sondeos de Ribarroja.

A continuación, se detalla la relación de muestras obtenidas en los sondeos:

**Tabla 20. Relación muestras obtenidas en sondeos**

Sondeos	M-01	M-02	M-03
<b>SR-01</b>	MA 0-2,6		
<b>SR-02</b>	MA 2,4- 4,5		
<b>SVR-03</b>	MA 0,55-0,73		
<b>SVR-04</b>	MA 0-0,3	MA 0,8-1,18	
<b>SVR-05</b>	MA 0,4-0,6	MA 0,87-1,07	
<b>SVR-06</b>	MA 0,6-0,9	MA 1,18-1,38	MA 2,57-2,77
<b>SVR-07</b>			
<b>SVR-08</b>	MA 0,75-0,9		
<b>SVR-09</b>			
<b>SVR-10</b>	MA 0-0,3	MA 0,3- 1,5	

De los sondeos realizados en este embalse se obtienen testigos bastante diferentes, se diferencian 3 zonas:

- 1) Aguas arriba en el Matarraña. Comprende la zona por encima de la cola del embalse, donde el río conserva régimen fluvial natural. Aquí se realizan SR-01 y SR-02, en los que se obtienen gravas hasta llegar al terciario, no hay influencia del embalse. En la misma zona en la que se tomó una muestra fotogramétrica.



Figura 62. Sondeos de desembocadura del Matarraña.

- 2) La Reixaga, dentro del Río Matarraña en la zona afectada por el embalse, donde se realizan SVR-03, SVR-04, SVR-05 y SVR-06. Una zona que antiguamente estaba dedicada al cultivo y actualmente se encuentra completamente sumergida.



Figura 63. Sondeos en la Reixaga.

No resulta sencillo aquí diferenciar los sedimentos previos a la construcción del embalse de los actuales, puesto que al ser un área dedicada al cultivo el sedimento era fino y con materia orgánica, algo similar a lo que se está depositando actualmente. A partir del año 2001 empieza a documentarse la presencia de mejillón cebra y almeja asiática en la zona, por lo que sus conchas pueden servir de guía para datar sedimentos modernos.

SVR-03: se diferencia un primer nivel de gravas de color gris de 0,40 m, grano- soportadas, con M.O y conchas de almeja asiática, bajo el que se encuentra otro nivel de gravas de color marrón y gris de 0,33 m, matriz- soportadas, con M.O.

SVR-04: aparece un primer nivel de arenas arcillo- limosas de color marrón verdoso con conchas de mejillón cebrá y de almeja asiática, bajo el que parecen arenas llimosas de color marrón grisáceo con M.O.

SVR-05: el nivel superficial se compone de limos arcillo- arenosos de color marrón con abundantes conchas de mejillón cebrá y almeja asiática. Bajo éste, limos arcillosos de color marrón con restos de las especies invasoras.

SVR-06: se distingue un primer nivel de limos arcillosos de color marrón grisáceo, con cantos de grava, restos vegetales y conchas de mejillón cebrá y almeja asiática. Subyacente, un nivel de limos arenosos marrón anaranjado, con restos de raíces y cuerpos leñosos, así como restos de bivalvos.

Analizando los resultados obtenidos, puede indentificarse un nivel superficial de 0,4- 0,9 m de potencia, rico en materia orgánica de coloraciones oscuras, litología variable (aunque predominan los finos) y conchas de almeja asiática y mejillón cebrá. Por debajo, se encuentra un nivel en tonalidades de marrón más claro, menos rico en materia orgánica, y con menor cantidad de bivalvos. Se puede pensar que el primer nivel corresponde a sedimento moderno, depositado tras la construcción del embalse, y que el nivel inferior pertenezca a la etapa anterior, pero en la zona se han realizado varias obras para el acondicionamiento de La Reixaga para las actividades de pesca y recreo, por lo que es posible que haya habido removilización de sedimentos. Por lo que, hay que tratar con cautela los datos recogidos.

- 3) Prospecciones en el Ebro, sobre el antiguo pueblo de Fayón: SVR-07, SVR-08, SVR-09, SVR-10.



Figura 64. Sondeos en antiguo pueblo de Fayón.

Los ensayos se han realizado donde se encontraba la estación de ferrocarril y la zona de vías.

SVR-07: se diferencian dos niveles de gravas, ambos grano-soportados y con conchas de mejillón cebrá, de 0-0,4 m y de 0,4- 1,07 m.

SVR-08: hay un primer nivel de bioclastos (mejillón cebrá y almeja asiática) con arcillas limosas, bajo el que aparecen arcillas limosas ricas en materia orgánica.

SVR-09: se identifica un nivel de gravas grano- soportadas con conchas de mejillón cebrá.

SVR-10: aparece un nivel superficial de limos con gravas, de color grisáceo, rico en M.O, bajo éste, limos arenosos con gravas, de color ocre.

Teniendo en cuenta la situación de la zona prospectada, puede deducirse que los sedimentos son posteriores a la construcción del embalse, puesto que debajo debe aparecer el firme de la estación de ferrocarril. Aunque hay que destacar que en la zona han tenido lugar obras de acondicionamiento turístico, por lo que ha podido haber algo de contaminación por removilización de material.

Las columnas estratigráficas de todos los ensayos y las fotos de los testigos aparecen en el anejo correspondiente 7.4.3.

Dado el escaso número de muestras obtenidas en los sondeos y su superficialidad se tratarán sus resultados conjuntamente.

## **5.2.2 Resultados analíticos de las muestras de sedimento sumergido y sondeos**

### **A) GRANULOMETRÍA. TEXTURA**

Para la caracterización de la textura de los sedimentos se ha utilizado el diagrama de Shepard 1954, conforme lo previsto en el pliego de prescripciones técnicas. Shepard clasifica la textura del sedimento de la siguiente forma: fracción de arcilla (<4  $\mu\text{m}$ ), fracción de limo (4-63  $\mu\text{m}$ ), fracción de arena (>63  $\mu\text{m}$ ).

De las 54 muestras solo ha podido realizarse esta operación en 51 de ellas. Las 3 restantes solo contenían conchas de bivalvos y fue imposible obtener material para ensayar.

El diagrama ternario resultante de Shepard nos muestra una textura limo-arcillosa bastante homogénea de todo el sedimento a lo largo del embalse. En el caso de las texturas de las muestras obtenidas con sondeo vibro-corer, arrojan materiales algo más dispares, pero ya hemos citado las dudas en cuanto a la completa validez de las muestras.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

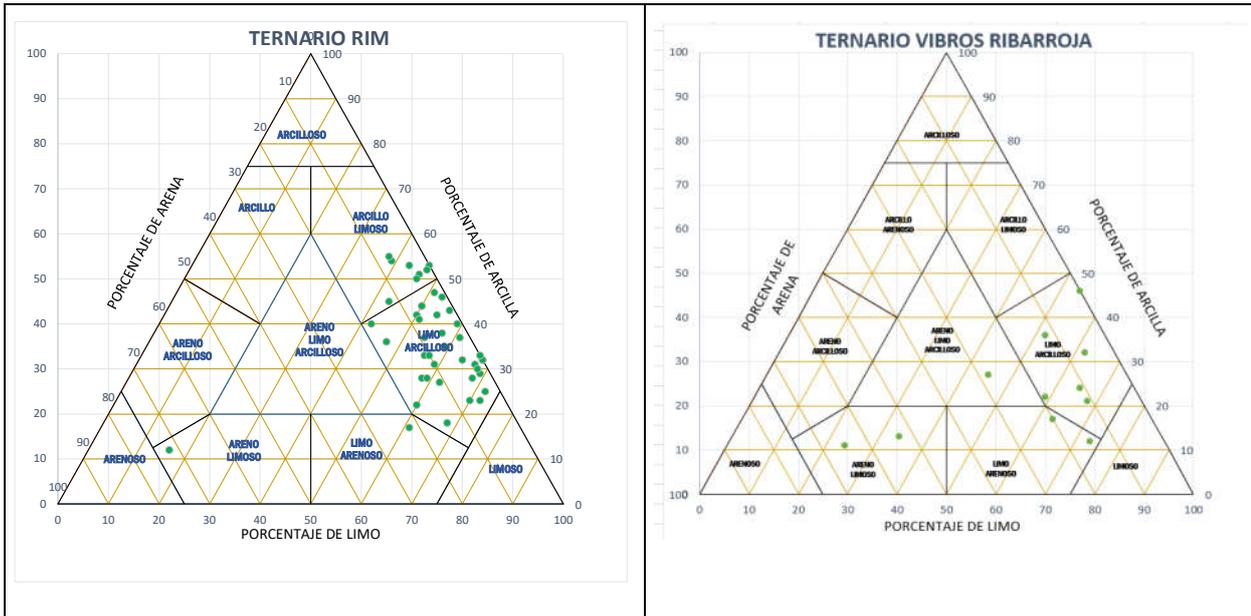


Figura 65. Diagramas ternarios Shepard de las muestras de sedimento sumergido del embalse de Ribarroja

Comparando con el caso de Mequinenza resultan unas texturas similares pero ligeramente más finas.

Estas texturas se pueden representar en un diagrama lineal. En las Figura 60 se muestran tanto simplemente ordenadas según su cercanía a la presa, como mediante la asignación de un punto kilométrico. Para la asignación de PK a las muestras, el 0 se sitúa en la presa de Ribarroja, y de ahí se dibuja un eje central ficticio sobre el que van sumando puntos kilométricos avanzando aguas arriba y sobre el que se proyectan las muestras. Todas las muestras de la desembocadura del Matarraña se hacen coincidir en el mismo PK.

Dentro de la general homogeneidad de los materiales, se aprecia una tendencia clara hacia materiales más finos, más arcillosos, según nos acercamos a la presa, con la pequeña y solo momentánea ruptura de tendencia que aportan las muestras de la desembocadura del Matarraña, ligeramente más gruesas.

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

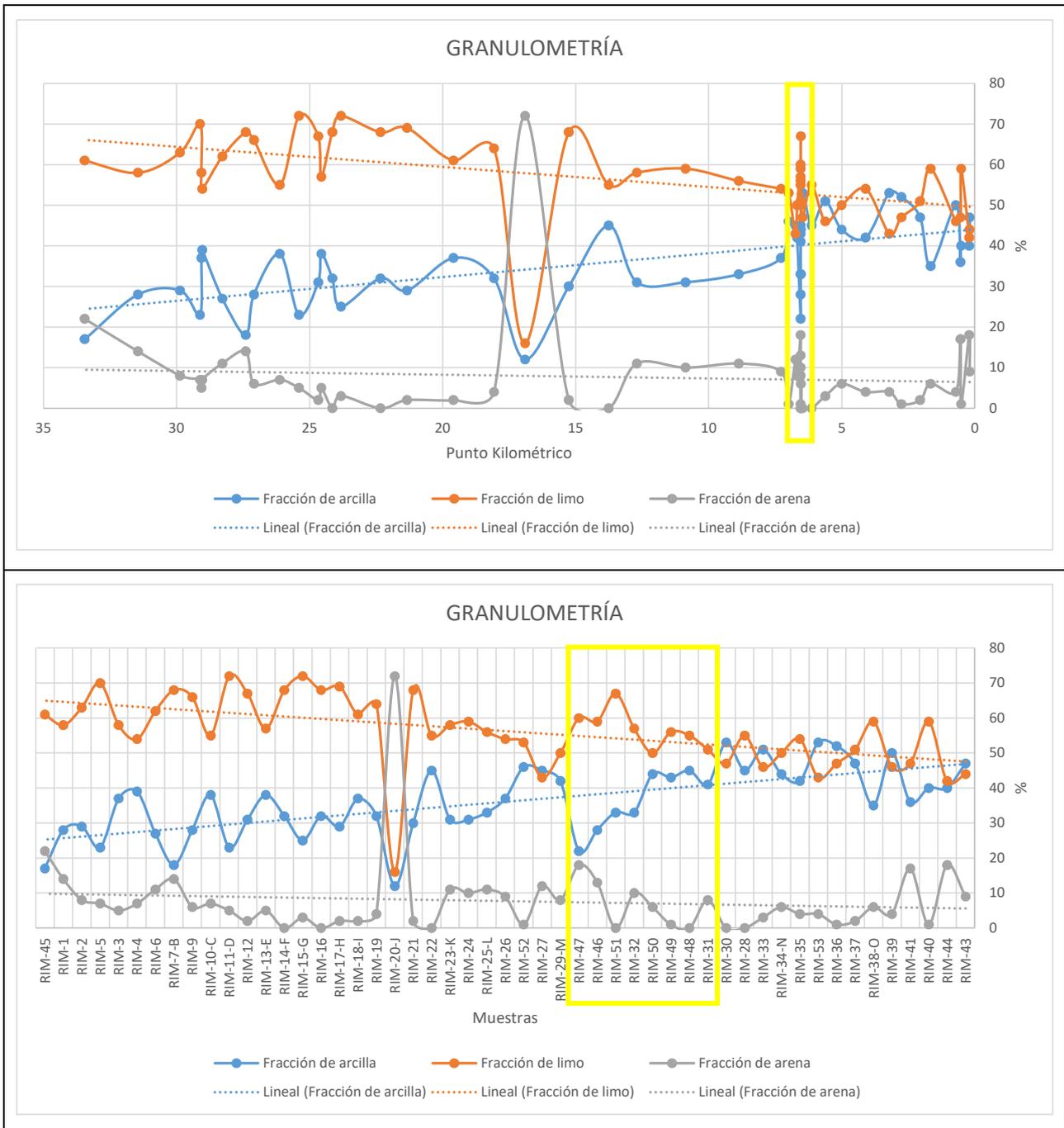


Figura 66. Texturas granulométricas Shepard a lo largo del embalse de Ribarroja. Se han recuadrado los puntos correspondientes a la desembocadura del río Matarraña

El punto RIM-20-J arroja valores atípicos (outlier). Se entiende que por su ubicación cercana a la orilla responde a condiciones locales y no refleja los sedimentos depositados por la retención del embalse.



Figura 67. Ubicación del punto RIM-20-J

Cronológicamente, la extracción y el análisis de las muestras del embalse de Ribarroja fueron las primeras. Por ello, se consideró conveniente realizar análisis de contraste granulométricos para garantizar la validez de los resultados obtenidos de texturas.

En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos de los siguientes laboratorios:

1) Laboratorios Tecnológicos de Levante (LTL). Es el laboratorio seleccionado para la ejecución de todos los análisis. El método empleado es el normalizado de granulometría por tamizado y sedimentación. La sedimentación, necesaria para los tamaños más finos, se realiza previa preparación de las muestras con hexametáfosfato sódico durante 12 horas con agitación. Se utiliza densímetro Bouyocos para la determinación de la distribución del tamaño de partículas.

2) Laboratorio de materiales de CEMOSA. Método similar con preparación de las muestras con hexametáfosfato sódico durante 24 horas y sin agitación.

3) Laboratorio del Instituto Andaluz de Ciencias de la Tierra, Departamento de Geodinámica de la Universidad de Granada. El método empleado es la difracción láser. No se trata de un método normalizado (UNE) para suelos, pero sí para otro tipo de materiales como pinturas y barnices.

4) Resultados de laboratorio procedentes del “Estudio de la dinámica sedimentaria y batimetría de precisión del embalse de Ribarroja, Flumen-UPC, 2010”. Granulometría por difracción láser. Muestras obtenidas en 2010 en ubicación semejante, aunque no exactamente coincidente, a las del presente trabajo.

**Tabla 21. Texturas obtenidas de análisis de contraste**

Registro	Identificación	Fecha muestreo	Fracción de arcilla (<4 µm)				Fracción de limo (4-63 µm)				Fracción de arena (>63 µm)			
			LTL	CEMOSA	Univ. GRAN.	UPC 2010	LTL	CEMOSA	Univ. GRAN.	UPC 2010	LTL	CEMOSA	Univ. GRAN.	UPC 2010
Unidad	-	-	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
22SC00157	RIM 1	04/09/2022	28	16.4	15.6		58	63.2	72.9		14	20.4	11.4	
22SC00161	RIM 7-B	04/09/2022	18	23.5	10.4	22.58	68	53	68.2	70.56	14	23.5	21.3	6.86
22SC00174	RIM 20-J (1)	03/09/2022	12	3.2	10	22.91	16	16.8	67.7	57.71	72	80	22.3	19.38
22SC00174	RIM 20-J (2)	03/09/2022			3.7				22.5				73.8	
22SC00083	RIM-25 L	14/07/2022	33	38.5	27.8	35.88	56	50.7	71.5	64.02	11	10.8	1	0.1
22SC00081	RIM-30	14/07/2022	53	41.8	26.5		47	50.4	73.4		0	7.8	0	
22SC00057	RIM-38-0	07/07/2022	35	41.7	24.3	26.62	59	47.7	73.3	69.66	6	10.6	2.3	3.72
22SC00062	RIM-41	07/07/2022	36	42.1	27.3		47	52.2	72.1		17	5.7	0.5	

Apreciamos una dispersión razonable dentro de los márgenes de error entre LTL y CEMOSA que utilizan la metodología normalizada de tamizado y sedimentación. Con la difracción láser aplicada por la Universidad de Granada se produce una mayor dispersión. Parece otorgar un mayor sesgo a los tamaños intermedios (limos), dando lugar a una mayor dispersión al comparar entre estas ambas metodologías.

Las metodologías no son equiparables y tampoco lo son sus resultados. La difracción láser mide las distribuciones del tamaño de las partículas mediante la variación angular de la intensidad de la luz dispersada al incidir el rayo láser en la muestra. La sedimentación se basa en la ley de Stokes, determinando la densidad de la solución de sedimentación.

Del ensayo de sedimentación se obtienen valores porcentuales en peso, mientras que la difracción láser los da en volumen, por lo que diferentes composiciones mineralógicas podrían tener también una cierta influencia.

Por otro lado, en la sedimentación se ensaya más de 1 kg de muestra, mientras que en la difracción solo 1 g, por lo que la selección de la muestra en este último caso es capital. Estas

son las circunstancias de la muestra de RIM-20-J que, ante la elevada divergencia encontrada inicialmente, se volvió a ensayar realizando nuevamente el proceso de selección del gramo de muestra a ensayar, dando resultados contradictorios, seguramente porque el punto muestreado contiene heterogeneidad de materiales y, por tanto, la formación del gramo a someter a difracción puede cambiarlo todo.

Con todo, dentro de las imperfecciones que podemos observar en las técnicas de determinación de texturas para tamaños de partículas muy finas, en realidad los resultados obtenidos con ambas nos dan como resultados unas texturas con carácter general limo-arcillosas, no variando la percepción general.

El contraste realizado no justificó el cambio de la técnica empleada y se siguió utilizando el ensayo normalizado de tamizado y sedimentación.

Además, como hemos dicho, en el trabajo del Grupo Flumen-UPC de 2010 se realizaron análisis de sedimento sumergido superficial en 16 puntos con la técnica de la difracción láser, la ubicación de los cuales se muestra en la figura 68.

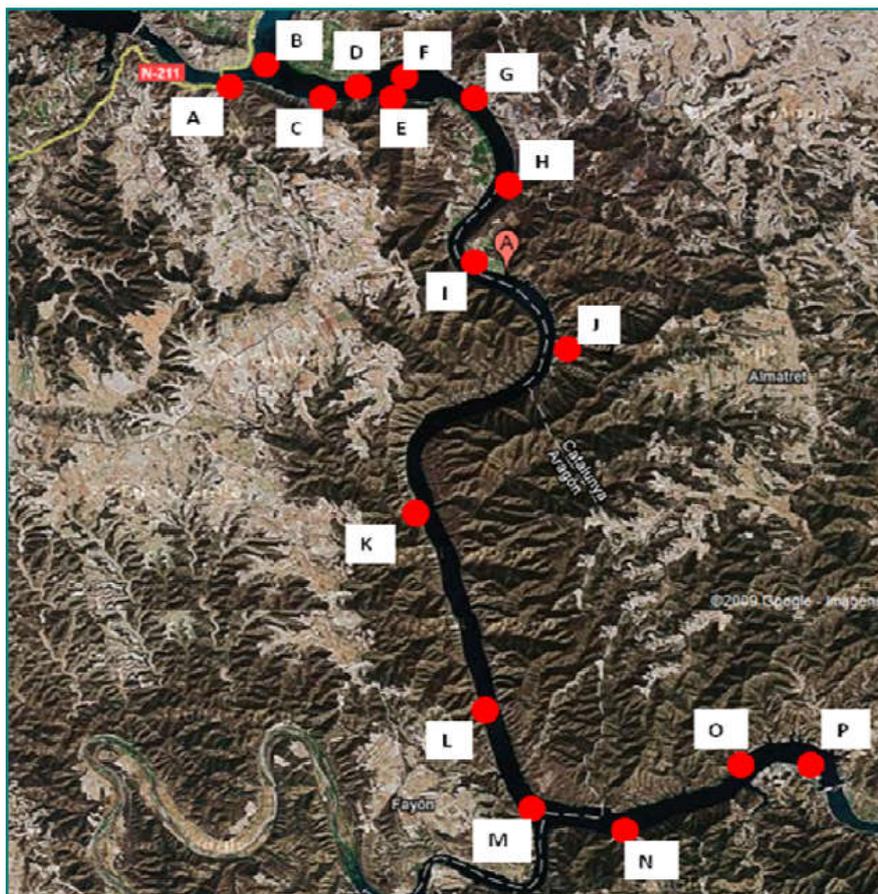


Figura 68. Ubicación de los puntos de muestreo de 2010 (Grupo Flumen - UPC)

En estos mismos puntos se ha tratado de obtener una muestra en este trabajo, aunque, como también hemos apuntado, no se conservaban las coordenadas de los mismos, por lo que solo puede decirse que el muestreo se ha realizado en la misma zona.

Los resultados se muestran en la tabla 22 y señalan una notable convergencia entre valores, a pesar de las diferentes técnicas empleadas, la inexactitud de ubicaciones o la superposición y movimiento de materiales en el tiempo transcurrido. El caso excepcional del RIM-20-J ya se ha señalado.

**Tabla 22. Comparación de texturas 2022-2020**

Identificación		Fracción de arcilla (<4 µm)		Fracción de limo (4-63 µm)		Fracción de arena (>63 µm)	
2022	UPC 2010	2022	UPC 2010	2022	UPC 2010	2022	UPC 2010
		%	%	%	%	%	%
RIM 8-A	A	conchas	43.42	conchas	56.57	conchas	0.00
RIM 7-B	B	18.00	22.58	68.00	70.56	14.00	6.86
RIM-10-C	C	38.00	39.77	55.00	58.88	7.00	1.35
RIM-11-D	D	23.00	21.19	72.00	58.96	5.00	19.85
RIM-13-E	E	38.00	23.95	57.00	67.68	5.00	8.37
RIM-14-F	F	32.00	17.76	68.00	74.07	0.00	8.17
RIM-15-G	G	25.00	19.26	72.00	45.74	3.00	35.00
RIM-17-H	H	29.00	28.47	69.00	69.10	2.00	2.43
RIM-18-I	I	37.00	30.85	61.00	67.76	2.00	1.39
RIM 20-J	J	12.00	22.91	16.00	57.71	72.00	19.38
RIM-23-K	K	31.00	30.23	58.00	69.04	11.00	0.73
RIM-25 L	L	33.00	35.88	56.00	64.02	11.00	0.10
RIM-29-M	M	42.00	41.50	50.00	58.35	8.00	0.15
RIM-34-N	N	44.00	35.51	50.00	63.80	6.00	0.69
RIM-38-O	O	35.00	26.62	59.00	69.66	6.00	3.72
RIM-42-P	P	conchas	41.71	conchas	58.25	conchas	0.04

En conjunto, todo ello apunta a una homogeneidad general de los materiales depositados en el embalse en el tiempo y en el espacio. Texturas limo-arcillosas y muy escasa presencia de arenas.

Los porcentajes medios que se obtienen de todos los puntos muestreados son:

- Fracción de arcilla: 36.1 %
- Fracción de limo: 56.3 %
- Fracción de arena: 7.7 %

Si se elimina del cálculo el resultado atípico de RIM-20-J, los resultados varían escasamente:

- Fracción de arcilla: 36.5 %
- Fracción de limo: 57.1 %
- Fracción de arena: 6.4 %

En la desembocadura del Matarraña (puntos RIM 31, 48, 49, 50, 32, 51, 46, 47) los porcentajes medios resultan extremadamente parecidos al conjunto:

- Fracción de arcilla: 36.1 %
- Fracción de limo: 56.9 %
- Fracción de arena: 7.0 %

De acuerdo con la batimetría del embalse de Ribarroja realizada por el Instituto Flumen – UPC en 2020, el volumen de sedimento acumulado puede oscilar entre 17,9 y 24,8 hm<sup>3</sup>, por lo que el volumen de arenas podría encontrarse entre los 1,10 y 1,60 hm<sup>3</sup>.

De las 7 muestras sometidas a análisis de contraste, también se ha realizado difracción por rayos X en la Universidad de Granada que permite determinar la composición mineralógica

**Tabla 23. Composición mineralógica según difracción de rayos X**

Minerales	RIM 1	RIM 7-B	RIM 20-J	RIM-25 L	RIM-30	RIM-38-0	RIM-41
-	%	%	%	%	%	%	%
Calcita	17.9	20.7	21.0	22.3	26.6	23.4	22.2
Arcillas de carácter illítico	19.6	18.1	12.1	21.5	20.2	20.2	19.2
Arcillas de carácter montmorillonítico	15.0	12.7	15.8	16.6	19.1	16.8	18.0
Cuarzo	19.9	16.6	19.2	13.0	12.5	13.2	12.9
Clorita clinoclórica	12.8	10.9	8.3	11.9	9.6	11.9	10.7
Plagioclasa anórtítica	7.3	14.4	14.1	9.7	5.6	9.2	10.4
Dolomita	2.5	1.5	3.1	0.6	1.7	0.9	0.8
Material indeterminado	5.1	5.2	6.4	4.6	4.8	4.5	5.8

## B) OTROS PARÁMETROS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Si nos centramos ahora en otros parámetros básicos de carácter físico y químico, encontramos también una relativa homogeneidad sin grandes desviaciones en el conjunto de muestras (51). Se obtiene una densidad media, en seco de 2 kg/L, como en el caso de Mequinenza.

**Tabla 24. Estadística de parámetros físico-químicos.**

	Amonio (NH <sub>4</sub> -N) % N sms	Densidad g/ml	Carbonatos % CaCO <sub>3</sub> sms	Conductividad 25°C (1:5) <sup>(1)</sup> μS/cm	Carbono orgánico total % sms	Materia orgánica total (calcinación) % sms
Media	0.001776	2.0663	34.6	566	3.181	5.48
Mediana	0.001170	2.0600	33.6	317	3.210	5.54
Máximo	0.016400	2.3500	57.5	1390	4.990	8.60
Mínimo	0.000084	1.7500	22.3	189	1.480	2.56
Desviación estándar	0.002446	0.1571	6.8	366	0.473	0.82

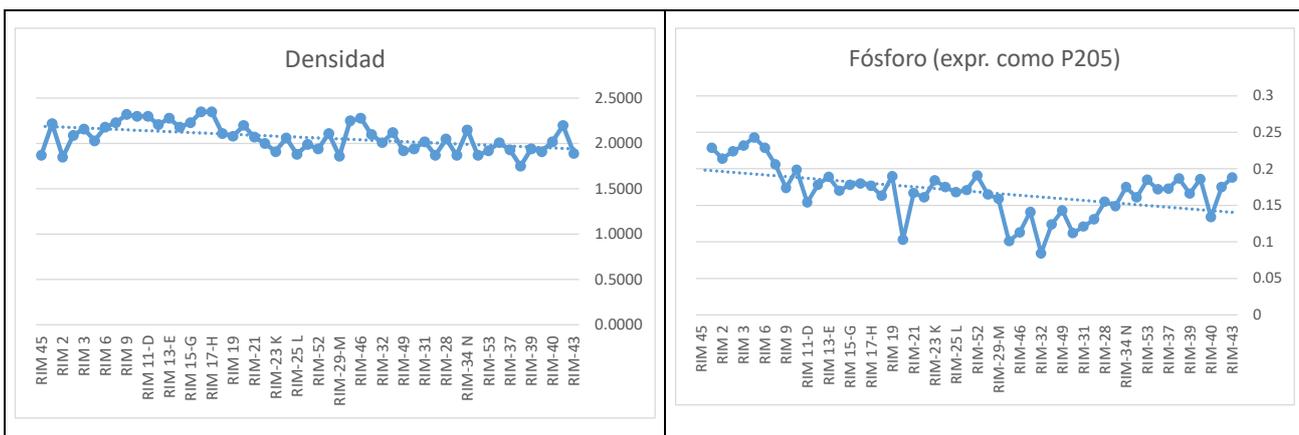
	Materia seca % smh	Nitratos (NO <sub>3</sub> -N) mg N/kg ms	Nitrógeno kjeldahl (N) % sms	Nitrógeno orgánico (N) % sms	Nitrógeno total (N) % sms	Fósforo (P) % (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ) % sms	pH (1:2,5) u. pH
Media	41.6	2.53	0.212	0.207	0.232	0.169	7.9
Mediana	40.7	2.30	0.214	0.208	0.224	0.173	8.0
Máximo	58.4	7.32	0.422	0.420	0.426	0.243	8.2
Mínimo	32.0	< 2.30	< 0.100	< 0.100	0.109	0.084	7.3
Desviación típica	5.3	0.83	0.052	0.053	0.058	0.035	0.2

Nota: Para la obtención de medias y desviación, los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

(1) Los datos de conductividad parecen presentar anomalías

Los datos de las muestras extraídas mediante sondeo con vibro-corer no aportan información significativamente discrepante.

No se aprecian tendencias muy claras a lo largo del embalse. Más contenido de nutrientes en la desembocadura del Segre.



**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

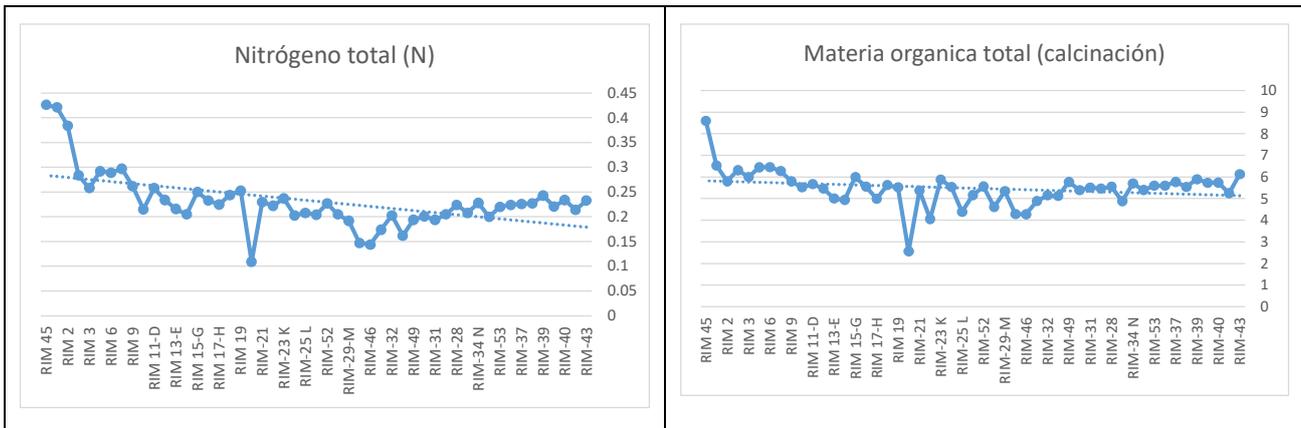


Figura 69. Tendencias de principales parámetros físico-químicos Ribarroja

**C) CONTENIDO DE METALES**

De 50 muestras de las 54 de sedimento sumergido superficial se han obtenido concentraciones de metales (incluido el selenio pese a ser un no metal). También se aprecia bastante homogeneidad en el contenido metálico de los sedimentos.

**Tabla 25. Estadística de contenido metálico de las muestras de sedimento sumergido.**

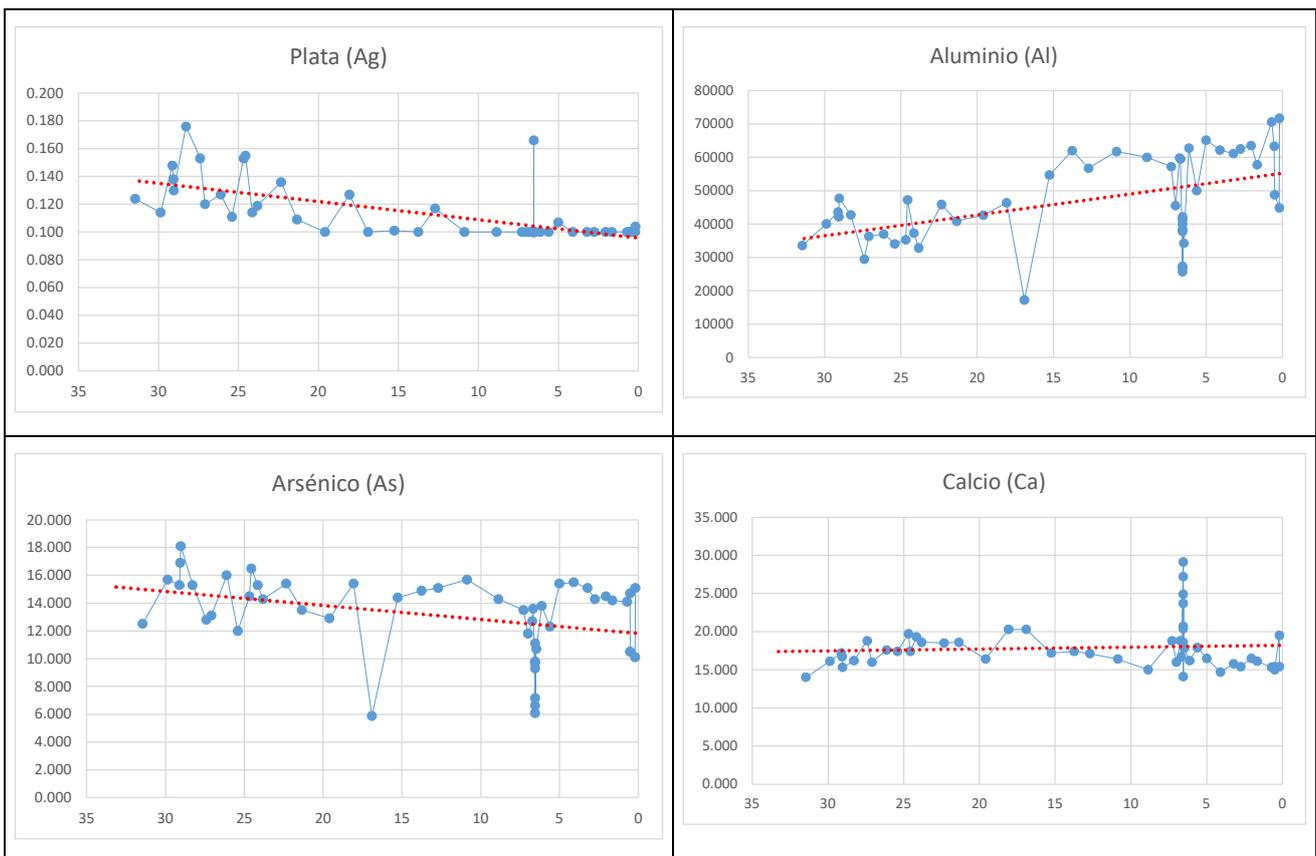
Elemento	Unidades	Media	Mediana	Máximo	Mínimo	Desviación típica
Plata (Ag)	mg/kg ms	0.113	<0.1	0.176	<0.1	0.020
Aluminio (Al)	mg/kg ms	46970	45200	71700	17300	13001
Arsénico (As)	mg/kg ms	13.143	14.150	18.100	5.880	2.845
Calcio (Ca)	% CaO sms	17.880	17.200	29.100	14.000	3.060
Cadmio (Cd)	mg/kg ms	0.266	0.275	0.404	0.100	0.078
Cobalto (Co)	mg/kg ms	10.077	10.900	12.900	4.060	2.327
Cromo (Cr)	mg/kg ms	44.682	45.600	59.700	18.900	10.012
Cobre (Cu)	mg/kg ms	27.087	27.850	43.000	9.040	8.532
Hierro (Fe)	mg/kg ms	30194	30000	43500	12800	7684
Mercurio (Hg)	mg/kg ms	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.000
Potasio (K)	% K2O sms	1.309	1.320	1.890	0.517	0.324
Magnesio (Mg)	% MgO sms	2.176	2.150	3.590	1.340	0.414
Manganeso (Mn)	mg/kg ms	478	505	646	208	111
Molibdeno (Mo)	mg/kg ms	1.174	<1	1.890	<1	0.251
Sodio (Na)	g/kg ms	1.071	1.075	1.510	0.350	0.297
Níquel (Ni)	mg/kg ms	29.3	30.5	71.2	11.6	9.5
Plomo (Pb)	mg/kg ms	18.4	19.9	23.5	7.9	4.1
Antimonio (Sb)	mg/kg ms	0.804	0.723	1.610	0.164	0.447

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

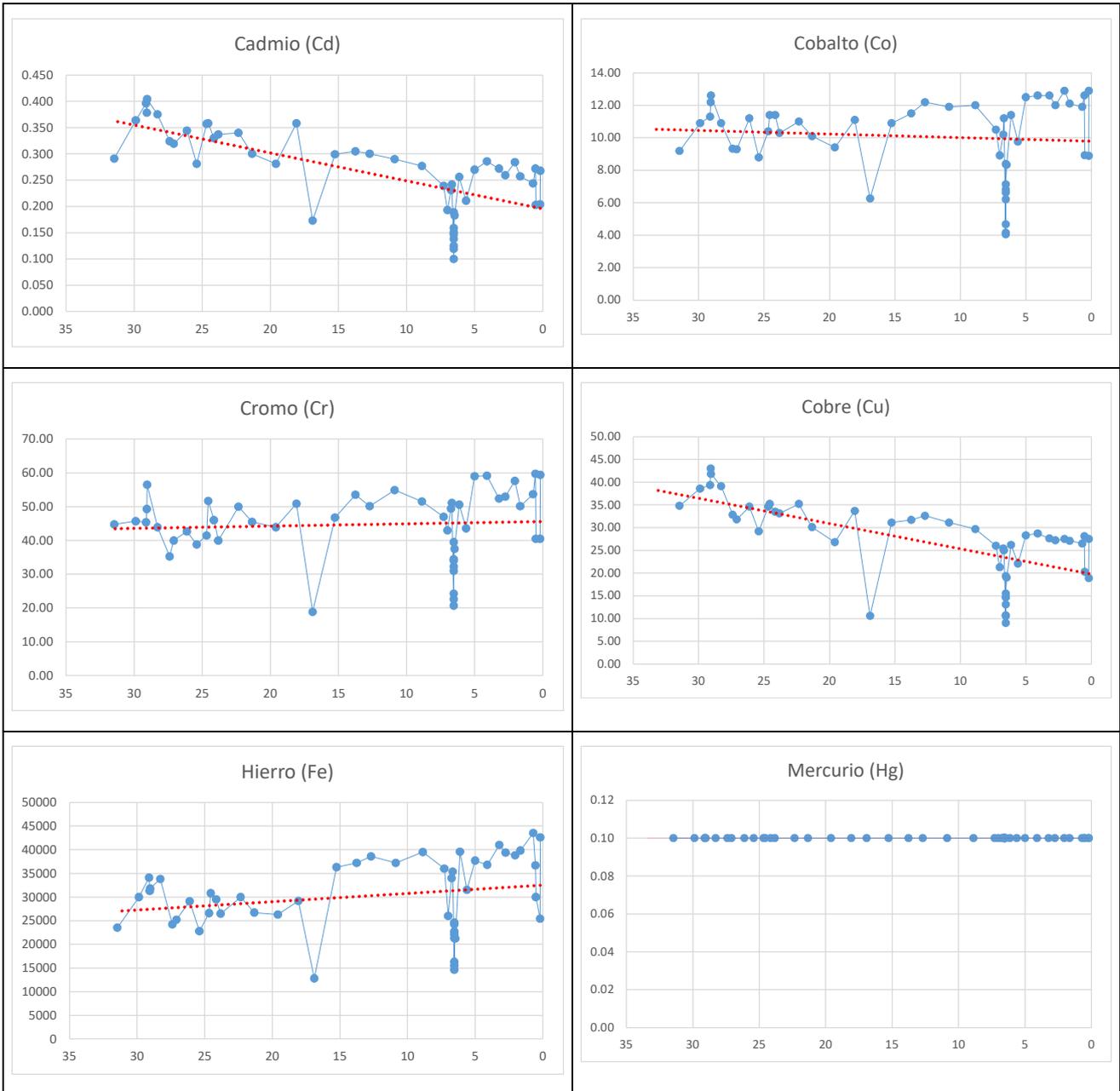
Selenio (Se)	mg/kg ms	0.723	0.742	1.040	0.286	0.173
Estaño (Sn)	mg/kg ms	2.509	<2.5	2.970	<2.5	0.066
Estroncio (Sr)	mg/kg ms	413	398	596	217	71
Vanadio (V)	mg/kg ms	64.0	64.5	90.2	25.4	16.1
Zinc (Zn)	mg/kg ms	98.3	108.0	145.0	33.8	27.6

Nota: Para la obtención de medias y desviación los valores menores del límite de detección se han hecho iguales al mismo.

Organizados los diferentes resultados por punto kilométrico (la presa corresponde al pk 0), a lo largo del embalse podemos apreciar que suele darse una mayor concentración metálica en la desembocadura del Segre, aunque esto no pasa en todos los casos. En el pk 16.9, donde se ubica el punto RIM-20-J, se aprecian valores destacadamente inferiores, reflejando las condiciones locales de esta muestra, como ya se ha apreciado. Algo similar sucede con los puntos en la desembocadura del Matarraña, todos ubicados en el pk 6.5 y que muestran concentraciones de metales significativamente inferiores a las medias (Figura 65).



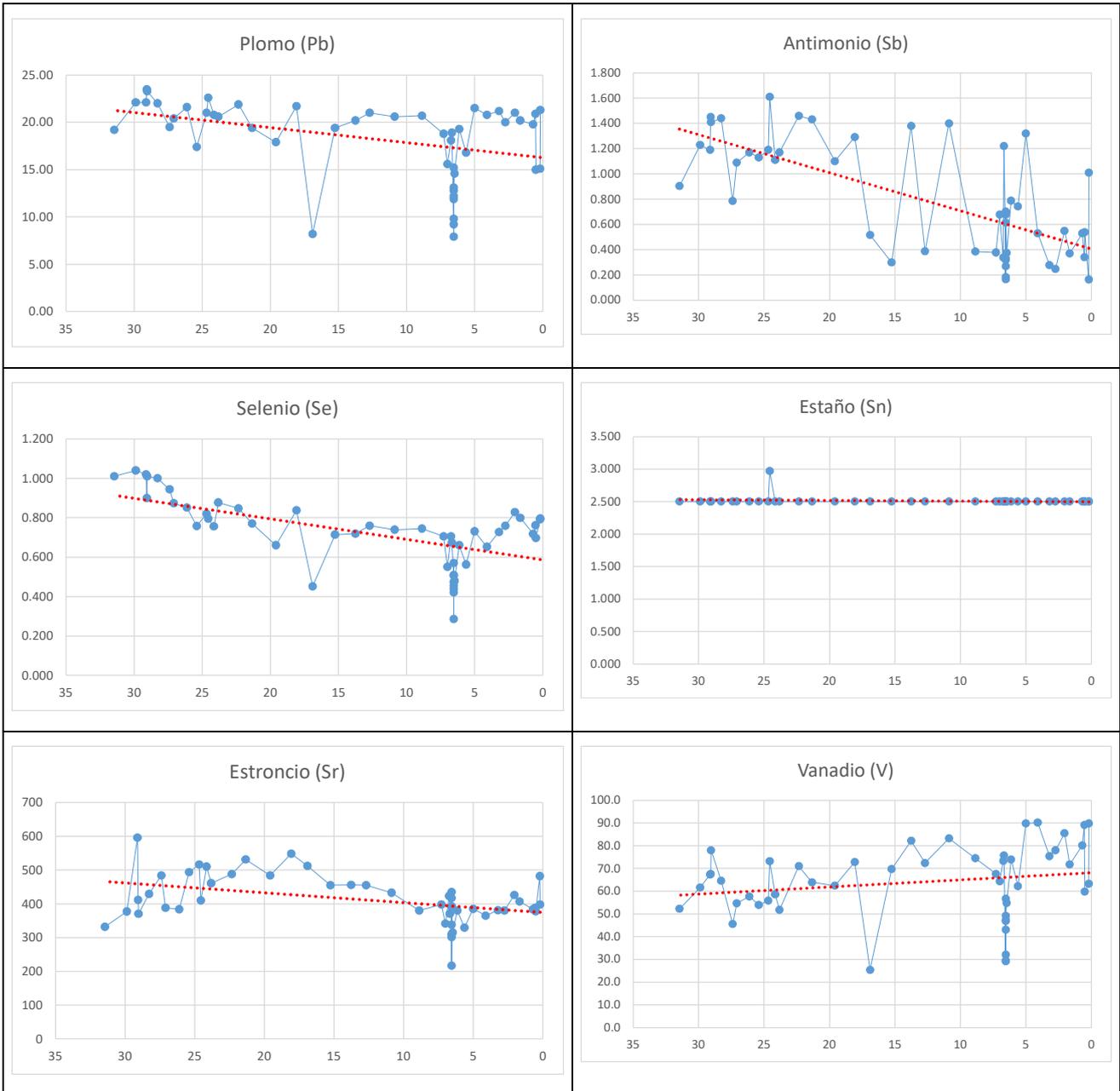
**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

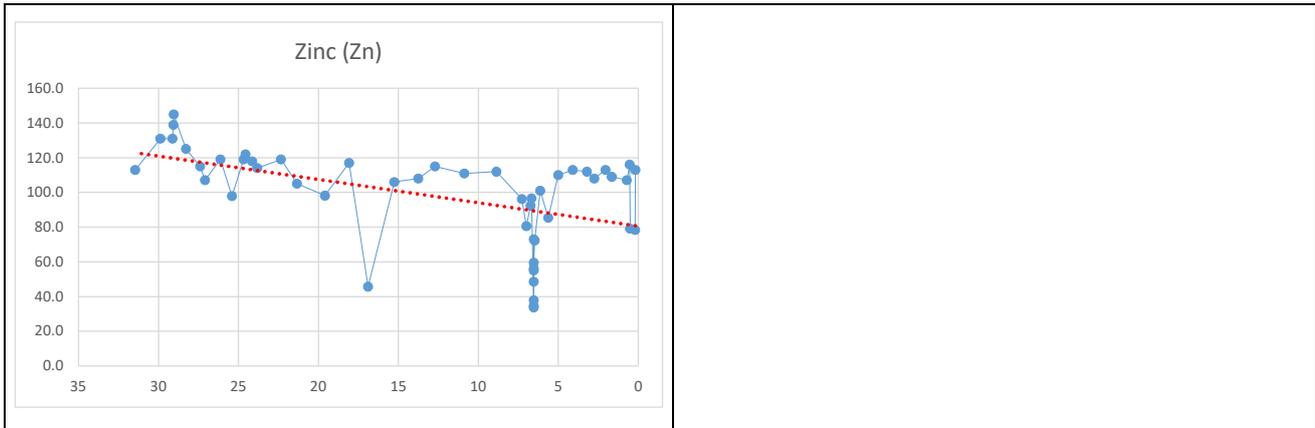


**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**



**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**





Nota: Para la realización de las gráficas los valores inferiores al límite de detección se han hecho iguales al mismo. Esto es especialmente relevante en el caso de Hg, Mo y Sn.

Figura 70. Tendencias concentraciones de metales en el embalse de Ribarroja

Al igual que en el caso de Mequinenza, dado que no existen unos estándares normativos para evaluar la contaminación en los sedimentos, se han usado para identificar posible contaminación por metales valores guía procedentes de los siguientes documentos, que se recogen de forma completa en el Anejo 7.6:

- MAM-2002. Valores guía propuestos para proteger la vida acuática. Recopilación de valores guía de contaminación en sedimento y biota para sustancias peligrosas. Documento interno. Ministerio de Medio Ambiente 2002.
- W-2003. Recommended sediment quality guideline values for metals and associated levels of concern to be used in doing assessment of sediment quality. Consensus-based sediment quality guidelines. Recommendations for use and application. Interim guidances. Developed by the contaminated sediment standing team. Wisconsin department of natural resources. 2003
- EPA-2006. Freshwater Sediment Screening Benchmarks. EPA Region III BTAG. Environmental Protection Agency. 2006
- NY-2014. Freshwater sediment guidance values. Screening and assessment of contaminated sediment. New York State Department of Environmental Conservation. Division of Fish, Wildlife and Marine Resources. Bureau of Habitat. 2014

Esta evaluación se realiza para las 50 muestras de sedimento sumergido superficial y para las otras 7 procedentes de los sondeos realizados con vibro-corer, de las que también se ha analizado el contenido de metales.

Plata (Ag)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Plata	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 1.6 mg/kg	1.6-1.9 mg/kg	1.9-2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plata	Benchmark 2 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Plata	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1 – 2.2 mg/kg	>2.2 mg/kg

Todas las muestras por debajo de 1 mg/kg.

Aluminio (Al)

No se han hallado valores guía para el Aluminio. No forma parte de las sustancias contaminates prioritarias o preferentes.

Arsénico (As)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Arsénico	3-33 mg/kg	Canadá
		3 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		16.6 - 100 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Arsénico	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 2 mg/kg	2-13,5 mg/kg	13,5-25 mg/kg	>33mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Arsénico	Benchmark 9.8 mg/kg

**PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA**

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Arsénico	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 10 mg/kg	10-33 mg/kg	>33mg/kg

El máximo hallado se encuentra en 18.1 mg/kg. Solo hay dos por encima de 16.6 mg/kg, pero del orden de la mitad de las muestras por encima de 13.5 mg/kg. Nos situaríamos en los rangos medio-bajos de los valores guía. Las concentraciones son ligeramente más elevadas que en Mequinenza,

Cadmio (Cd)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cadmio	0.2-10 mg/kg	Canadá
		0.58 -12 mg/kg	Estados Unidos
		1.4 - 30 mg/kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cadmio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.99 mg/kg	0.99-3 mg/kg	3-5 mg/kg	>5 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cadmio	Benchmark 0.99 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cadmio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 1 mg/kg	1-5 mg/kg	>5 mg/kg

Todas las muestras demás se encuentran bastante por debajo de 1 mg/kg (mediana 0.266 mg/kg, máximo 0.404 mg/kg).

Cobalto (Co)

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobalto	Benchmark

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobalto	Benchmark 50 mg/kg

Todos los valores registrados por debajo de 13 mg/kg

### Cromo (Cr)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cromo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 43 mg/kg	43-76.5 mg/kg	76.5-110 mg/kg	>110 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cromo	Benchmark 43.4 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cromo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 43 mg/kg	43-110 mg/kg	>110 mg/kg

31 muestras de 57 han dado como resultados valores superiores a 43 mg/kg, siendo el máximo registrado de 59,7 mg/kg, mediana de 43.9 mg/kg. La mediana sube a 48.2 mg/kg si retiramos del análisis los valores de la desembocadura del Matarraña. No obstante, con carácter general nos situaríamos en el rango bajo de los valores guía.

### Cobre (Cu)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Cobre	16-197 mg/kg	Canadá
		16 - 840 mg/kg	Estados Unidos
		8.4 - 400 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cobre	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Cobre	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 32 mg/kg	32-91 mg/kg	91-150 mg/kg	>150 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Cobre	Benchmark 31.6 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Cobre	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 32 mg/kg	32-150 mg/kg	>150 mg/kg

15 muestras de 57 se encuentran por encima de los 32 mg/kg, peor solo hay dos por encima de 40 mg/kg, estando el máximo en 43.9 mg/kg, mediana de 27.5 mg/kg. Rango bajo de los valores guía.

#### Hierro (Fe)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Hierro	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 20000 mg/kg	20000-30000 mg/kg	30000-40000 mg/kg	>40000 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Hierro	Benchmark 20000 mg/kg

Prácticamente todas las muestras de sedimento sumergido superficial 46 de 50 dan valores superiores a 20000 mg/kg, siendo el máximo registrado de 43500 mg/kg, mediana de 30000 mg/kg. Todos los valores de las 7 muestras de los sondeos por debajo de 20000 mg/kg. Solo 2 valores por encima de 40000 mg/kg. Con carácter general estamos en el rango medio de los valores guía disponibles. No obstante, el hierro no se encuentra en las listas de sustancias prioritarias o preferentes. Los valores resultantes en Ribarroja son ligeramente superiores a los hallados en Mequinenza.

#### Mercurio (Hg)

PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Mercurio	0.05-2 mg/kg	Canadá
		0.1 – 2.7 mg/kg	Estados Unidos
		0.12 - 15 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Mercurio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 0.18 mg/kg	0.18-0.64 mg/kg	0.64-1.1 mg/kg	>1.1 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Mercurio	Benchmark 0.18 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Mercurio	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 0.2 mg/kg	0.2-1 mg/kg	>1 mg/kg

No se han registrado resultados por encima de 0.1 mg/kg, límite de detección.

Manganeso (Mn)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Manganeso	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 460 mg/kg	460-780 mg/kg	780-1100 mg/kg	>1100 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Manganeso	Benchmark 460 mg/kg

34 de 57 muestras arrojan valores mayores de 460 mg/kg. El valor máximo registrado es de 646 mg/kg, con 6 muestras por encima de 600 mg/kg. Los valores son ligeramente superiores a los de Mequinenza, pero en cualquier caso se situarían con carácter general más hacia los rangos bajos.

Molibdeno (Mo)

No se han hallado valores guía para el molibdeno. 25 muestras han registrado valores por encima de límite de detección situado en 1 mg/kg, y todas por debajo de 2 mg/kg.

Níquel (Ni)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Níquel	16 - 75 mg/kg	Canadá
		5 - 100 mg/kg	Estados Unidos
		8 - 100 mg/kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Níquel	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 23 mg/kg	23 - 36 mg/kg	36 - 49 mg/kg	> 49 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Níquel	Benchmark 22.7 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Níquel	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 23 mg/kg	23 - 49 mg/kg	>49 mg/kg

Una muestra aislada, RIM-34-N, ha arrojado un valor de 71.2 mg/kg, que podría ser indicativa de contaminación, pero todas las demás se encuentran por debajo de 49 mg/kg y solo 6 de ellas por encima de 36 mg/kg. Por encima de 23 mg/kg hallamos 42 muestras de las 57, es decir, prácticamente todas las que no se hallan en la zona de la desembocadura del Matarraña, incluyendo sondeos. En conjunto estaríamos en el entorno de los rangos bajos de los valores guía, salvo el caso aislado ya citado sin reflejo en los puntos cercanos.

Plomo (Pb)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Plomo	23 - 250 mg/kg	Canadá
		31 - 720 mg/kg	Estados Unidos

PLAN DE ACCIÓN SOBRE EL DELTA DEL EBRO: CARACTERIZACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EXISTENTES EN LOS EMBALSES DE MEQUINENZA Y RIBARROJA

Fuente	Sustancia	Rango	País
		70 - 160 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Plomo	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 36 mg/kg	36 - 83 mg/kg	83 - 130 mg/kg	> 130 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Plomo	Benchmark 35.8 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
NY-2014	Plomo	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 36 mg/kg	36 -130 mg/kg	>130 mg/kg

Todas las muestras por debajo de 30 mg/kg.

Antimonio (Sb)

Fuente	Sustancia	Rango			
W-2003	Antimonio	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 2 mg/kg	2 -13.5 mg/kg	13.5 - 25 mg/kg	> 25 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Antimonio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de antimonio es 1.61 mg/kg y la mediana se sitúa en 0,61 mg/kg.

Selenio (Se)

Fuente	Sustancia	Rango	País
	Selenio	5 mg/kg	Canadá

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002		0.95 – 1.73 mg/kg	Estados Unidos
			Europa

Fuente	Sustancia	Rango
EPA-2006	Selenio	Benchmark 2 mg/kg

El valor máximo registrado de selenio 1.04 mg/kg. Hay otras 4 muestras por encima de 0.95 mg/kg. Valores ligeramente más bajos que en Mequinenza.

#### Estaño (Sn)

No se han hallado valores guía para el estaño, pero solo 1 muestra ha dado un valor por encima de límite de detección situado en 2.5 mg/kg, con 2.97 mg/kg. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes. Valores ligeramente inferiores a Mequinenza.

#### Estroncio (Sr)

No se han hallado valores guía para el estroncio. Todas las muestras en valores bastante homogéneos. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

#### Vanadio (V)

No se han hallado valores guía para el vanadio. Sin grandes divergencias entre muestras, salvo RIM-20-J y desembocadura del Matarraña. No se encuentra en las listas de sustancias contaminantes prioritarias o preferentes.

#### Zinc (Zn)

Fuente	Sustancia	Rango	País
MAM-2002	Zinc	100 – 820 mg/kg	Canadá
		50 – 1300 mg/kg	Estados Unidos
		95.4 – 2500 mg/Kg	Europa

Fuente	Sustancia	Rango
--------	-----------	-------

<b>W-2003</b>	<b>Zinc</b>	Level 1	Level 2	Level 3	Level 4
		< 120 mg/kg	120 - 290 mg/kg	290 - 460 mg/kg	> 460 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango
<b>EPA-2006</b>	<b>Zinc</b>	Benchmark 121 mg/kg

Fuente	Sustancia	Rango		
<b>NY-2014</b>	<b>Zinc</b>	Class A low risk	Class B potential risk	Class C highly contaminated
		< 120 mg/kg	120 -460 mg/kg	>460 mg/kg

Solo 6 muestras por encima de 120 mg/kg y todas ellas por debajo de 145 mg/kg, máximo registrado.

\*\*\*\*

La conclusión de todo lo anterior es que la presencia de metales en los sedimentos, aunque más elevada que la encontrada en puntos que responden a condiciones locales de la zona (RIM-20-J) o en la desembocadura del Matarraña, se halla en el rango bajo de los valores guía disponibles, por lo que puede descartarse contaminación por metales en los sedimentos. Dentro de los niveles detectados los más altos se encuentran en As, Cr, Fe y Ni.

Aunque hay variabilidad de casos, las concentraciones son generalmente superiores en el embalse de Ribarroja frente a las detectadas en Mequinenza.

\*\*\*\*

### C) CONTENIDO EN COMPUESTOS ORGÁNICOS

De los contaminantes orgánicos analizados (PCB, DDT, HCH, HBCDD y PBDE) todas las muestras han quedado por debajo de los límites de detección de los equipos analíticos.