

TRABAJOS DE SEGUIMIENTO LIMNOLÓGICO DE LAS OPERACIONES DE MOVILIZACIÓN DE SEDIMENTO EN LA COLA Y EL EJE DEL EMBALSE DE RIBA-ROJA (15/11/2024 A 25/11/2024)



Antoni Palau Nadal^{1,2} y Antoni Palau Ibars²

¹ Assessoria Tècnica Mediambiental (ATECMA)

² DQFAS-Universitat de Lleida

Lleida, enero de 2025

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN, 2
2. ÁREA DE ESTUDIO, 3
3. ESTRATEGIA DE MUESTREO, 4
 - 3.1. PARÁMETROS MONITORIZADOS, 4
 - 3.2. PUNTOS DE CONTROL Y TOMA DE MUESTRAS, 5
4. RESULTADOS, 6
 - 4.1. TURBIDEZ Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN, 6
 - 4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA, 11
 - 4.2.1. Medidas en superficie, 11
 - 4.2.2. Perfiles verticales, 14
5. CONCLUSIONES, 18
6. AGRADECIMIENTOS, 19

- ANEXO I. TABLAS DE RESULTADOS, 20

1. INTRODUCCIÓN

El presente documento técnico recoge el resultado de los trabajos de seguimiento limnológico realizados, a petición de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) durante las operaciones de movilización de sedimento en la cola y el eje del embalse de Riba-roja, los días comprendidos entre el 15 y el 25 de noviembre de 2024. El objetivo ha sido evaluar el efecto, sobre la fisicoquímica del agua y sólidos en suspensión, de la combinación de un descenso de nivel del embalse de Riba-roja y la entrada en dicho embalse de dos crecidas consecutivas:

- En primer lugar, el 19 de noviembre de 2024, una procedente del sistema Cinca-Segre con origen en los embalses de El Grado (figura 1; río Cinca) y Camarasa (figura 2; río Noguera Pallaresa) con caudales de 400 y 120 m³/s, respectivamente.



Figura 1. Presa del embalse de El Grado. Fecha: 19 de noviembre de 2024.



Figura 2. Presa del embalse de Camarasa. Fecha: 19 de noviembre de 2024.

- A continuación, el 21 de noviembre de 2024, otra desde el embalse de Mequinzenza (figura 3; río Ebro) con un caudal de 1.400 m³/s.



Figura 3. Presa del embalse de Mequinzenza. Fecha: 21 de noviembre de 2024.

Para los trabajos de seguimiento realizados se establecieron dos puntos de control a lo largo del eje del embalse de Riba-roja.

2. ÁREA DE ESTUDIO

Los dos puntos de control monitorizados durante el seguimiento de las operaciones objeto de estudio, se sitúan a lo largo del eje del embalse de Riba-roja (figura 4), aguas abajo de la confluencia entre el río Ebro (embalse de Mequinzenza, margen derecha) y el sistema Cinca-Segre (margen izquierda). Ambos puntos, siguiendo el eje del embalse, se encuentran a una distancia aproximada de 10 km.



Figura 4. Localización de los puntos de control establecidos en el embalse de Riba-roja. Fuente cartográfica: imágenes 2025 TerraMetrics, Instituto geográfico Nacional, Google.

La localización de los dos puntos de control tenía como objetivo la obtención de la información más representativa posible del medio estudiado. Idealmente, un mayor número de puntos habría permitido obtener información mucho más precisa. El punto P1 se ubicó lo más cerca posible de los dos tributarios que vierten sus aguas en el embalse de Riba-roja (río Ebro y sistema Cinca-Segre) pero, a su vez, en línea más o menos recta y a suficiente distancia para que su columna de agua estuviera estructurada, bien sea mezclada de arriba abajo, como corresponde a la época del año muestreada, o bien estratificada por diferencias de densidad. El punto P2, en cambio, se situó después de los cuatro primeros meandros del embalse de Riba-roja, justo antes de la recta donde en principio, según la misma morfología, el paso de la crecida tenía que ser más uniforme (figura 4). Los dos puntos se ubicaron, dentro de sus respectivas zonas, en las secciones más estrechas para conseguir la máxima representatividad transversal. La principal característica diferencial entre puntos es su profundidad siendo el P2 unos 8 metros más profundo que el P1. Las coordenadas de los puntos se recogen en la tabla 1.

Tabla 1. Coordenadas orientativas UTM de los dos puntos de control considerados en el presente estudio.

| Coordenadas UTM | Huso | X | Y |
|-----------------|------|--------|---------|
| P1 | 31T | 278796 | 4581079 |
| P2 | 31T | 277315 | 4573399 |

3. ESTRATEGIA DE MUESTREO

3.1. PARÁMETROS MONITORIZADOS

El seguimiento limnológico realizado durante las operaciones de movilización de sedimento en la cola y eje del embalse de Riba-roja se centró en el análisis de las variables fisicoquímicas básicas del agua (profundidad, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, saturación de oxígeno, pH y turbidez) y biomasa algal (clorofila) detalladas en la tabla 2, junto con los equipos y técnicas de determinación.

Tabla 2. Parámetros medidos, equipos y técnicas utilizadas durante los trabajos de seguimiento de la crecida controlada en las dos secciones de control consideradas.

| Parámetro | Equipo | Técnica |
|--|----------------------------------|------------------------------|
| Profundidad (m) | Plastimo Echotest II | Ecosondeo |
| Temperatura del agua (°C) | Sonda multiparamétrica YSI EXO-3 | Electrometría <i>in situ</i> |
| Conductividad eléctrica (µS/cm a 25°C) | | |
| Oxígeno disuelto (mg O ₂ /l) | | |
| Saturación de oxígeno disuelto (%) | | |
| pH (a 25°C) | | |
| Biomasa algal (µg/l) | | |
| Profundidad de visión del Disco de Secchi (m) | Disco Secchi estándar | Lectura directa |
| Turbidez (NTU; <i>Nephelometric Turbidity Unit</i>) | TN 3025 | Sistema óptico |

En su día se indicó de la instalación, por parte de Endesa, de una sonda multiparamétrica EXO-3 en la presa de Riba-roja. No obstante, no se consiguió contactar con dicha empresa y se desconoce si está operativa.

La forma de determinar la profundidad fue la siguiente: con el uso de un profundímetro *Plastimo Echotest II* se obtuvo un primer dato sobre la distribución de profundidades a lo ancho de las secciones transversales correspondientes a los dos puntos de muestreo. El punto de muestreo se ubicó en la zona más profunda de cada sección. Los valores de profundidad en los puntos de muestreo seleccionados se corroboraron mediante una cinta métrica lastrada (método tradicional) y se obtuvieron las coordenadas geográficas de cada punto (tabla 1). Las diferencias de profundidad medida entre el profundímetro y el lastre fueron siempre inferiores a 40 cm.

3.2. PUNTOS DE CONTROL Y TOMA DE MUESTRAS

La toma de muestras se realizó desde una embarcación (facilitada por la Confederación Hidrográfica del Ebro). En cada uno de los puntos de control se procedió de la siguiente manera: i) aproximación a las coordenadas de cada punto de muestreo a partir de referencias visuales en las orillas (figura 5); ii) medida de la profundidad; ii) estimación de la profundidad de visión del Disco de Secchi; iii) estabilización de la sonda en superficie; iv) determinación de las variables fisicoquímicas en superficie (0 m) y realización de un perfil vertical en la columna de agua (de superficie a fondo) mediante la sonda multiparamétrica; y finalmente, v) toma de muestras en diferentes profundidades mediante una botella oceanográfica. Todas estas labores se ejecutaban de forma coordinada entre los dos miembros del equipo de trabajo para evitar al máximo la deriva propia durante el muestreo, siendo necesario en alguna campaña el uso de un lastre para mantener la embarcación lo más fija posible. No obstante, cabe indicar que una cierta deriva fue inevitable, especialmente en las campañas con flujo de agua entrante circulando por el embalse.



Figura 5. Vistas de ambas márgenes en los puntos de control muestreados.

Las muestras recogidas a diferentes profundidades (por defecto: 0, 2, 5 m y fondo), se almacenaron en recipientes de plástico hermético de 500 ml para determinar su turbidez y, posteriormente, ser enviadas a LABAQUA, S.A.U. (a través de la Universidad Politécnica de

Madrid) para cuantificar los sólidos en suspensión y totales¹ mediante gravimetría.

Los trabajos descritos se llevaron a cabo en cinco campañas de muestreo:

- T1 (15/11/2024): campaña previa a cualquier maniobra de gestión del nivel del embalse de Riba-roja.
- T2 (19/11/2024): campaña con el embalse en la cota mínima propuesta y antes de la recepción de los caudales de crecida procedentes del sistema Cinca-Segre.
- T3 (20/11/2024): campaña durante la recepción en el embalse de Riba-roja, de la crecida generada a través del sistema Cinca-Segre.
- T4 (21/11/2024): campaña durante la inyección al embalse de Riba-roja, de la crecida realizada desde el embalse de Mequinzenza.
- T5 (25/11/2024): campaña de caracterización de las condiciones de retorno del embalse de Riba-roja, a su cota ordinaria y a condiciones normalizadas de gestión.

4. RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos ordenados de la siguiente manera: en primer lugar, las determinaciones de turbidez y sólidos en suspensión y finalmente, la calidad fisicoquímica del agua, diferenciando entre medidas superficiales (0 m) y perfiles verticales en la columna de agua (de superficie a fondo).

4.1. TURBIDEZ Y SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN

Durante las cinco campañas de campo realizadas se obtuvieron un total de 38 muestras (en superficie y a diferentes profundidades). De estas 38 muestras, 16 corresponden al punto P1 y 22 al punto P2, de acuerdo con la diferencia de profundidad entre ambos puntos. En todas las muestras se determinó su turbidez mediante un turbidímetro portátil TN 3025. Seguidamente, se seleccionaron las 12 muestras más representativas (9 del P1 y 3 del P2) intentado cubrir todo el espectro de valores de turbidez medidos. Esta selección de muestras, tal y como ya se ha comentado, se envió, a través de la Universidad Politécnica de Madrid, a LABAQUA, S.A.U. donde se determinaron, por gravimetría, los sólidos en suspensión (SS) y los sólidos totales (ST).

Con los datos disponibles se ha realizado la figura 6 que muestra la regresión lineal entre la turbidez y los sólidos en suspensión. En dicha figura, se ha obviado un valor por quedar fuera de los límites de detección del turbidímetro empleado (> 1.000 NTU; 1.406 mg/l SS). Se observa un coeficiente de determinación (R^2) alto (0,98) lo que refleja la alta linealidad de la relación entre variables. Ahora bien, tal y como se puede observar en la figura 6, el valor máximo que aparece ($989,5$ NTU; 775 mg/l SS) se encuentra en una posición muy extrema respecto al resto de valores generando un vacío de datos y por tanto cierta incertidumbre para el cálculo que se precisa de transformar los datos de turbidez medidos (NTU) en valores de sólidos en suspensión (mg/l). Una solución plausible para conseguir mayor precisión en el rango de valores de turbidez más frecuente (< 200 NTU) es obviar, también, este punto dando lugar a la figura 7.

¹ En el presente informe no se han utilizado los datos referentes a sólidos totales.

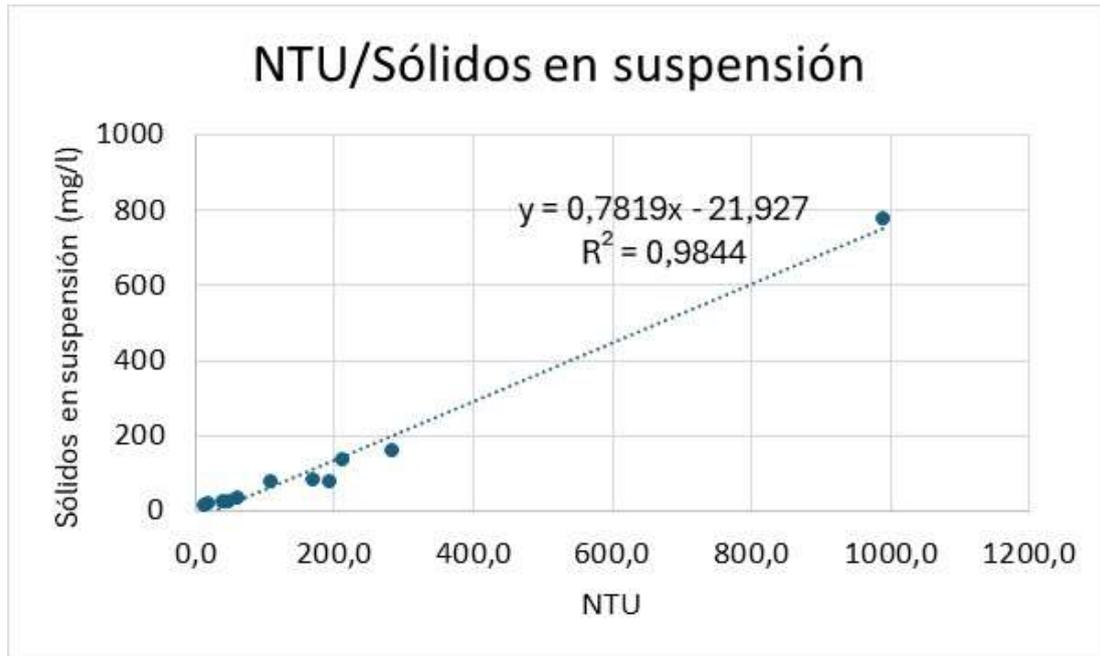


Figura 6. Relación NTU (eje X) y sólidos en suspensión (SS; eje Y) en mg/l de todos los valores disponibles.

La figura 7 mantiene un R^2 muy alto, con una distribución de puntos más homogénea (mayor densidad) que mejora la precisión de la ecuación de la recta para la transformación de los datos de turbidez (NTU) a sólidos en suspensión de las 26 muestras restantes (no enviadas al laboratorio). El valor resultante de estos cálculos se puede encontrar en las tablas 3 y 4.

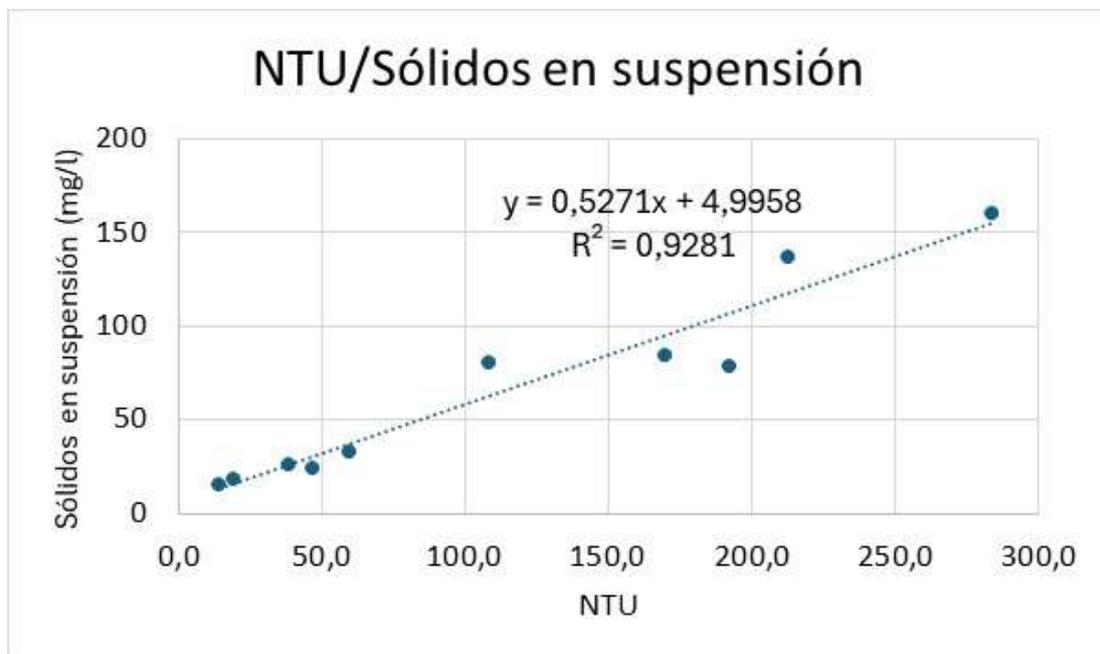


Figura 7. Relación NTU (eje X) y sólidos en suspensión (SS; eje Y) en mg/l de los valores considerados para calcular la ecuación de la recta utilizada.

La siguiente tabla 3 muestra los datos de turbidez y sólidos en suspensión obtenidos en el punto P1. Los valores marcados con un asterisco están calculados con la ecuación de la recta de la figura 7; el resto de los valores son resultado de las analíticas de laboratorio realizadas por LABAQUA, S.A.U.

Tabla 3. Datos de turbidez (medidas propias) y sólidos en suspensión obtenidos en el punto P1 a partir de los análisis de laboratorio (LABAQUA, S.A.U) y del cálculo por regresión lineal según la ecuación de la figura 7 (*).

| Punto | Fecha | Hora | Profundidad (m) | Turbidez (NTU) | Sólidos en suspensión (mg/l) |
|------------|------------|----------|-----------------|----------------|------------------------------|
| P1 | 15/11/2024 | 11:10:10 | 0 | 19,7 | 15* |
| | 15/11/2024 | 11:11:22 | 2 | 29,8 | 21* |
| | 15/11/2024 | 11:12:44 | 5 | 36,0 | 24* |
| | 15/11/2024 | 11:14:50 | 10 | 30,9 | 21* |
| | 19/11/2024 | 10:38:53 | 0 | 19,7 | 18 |
| | 19/11/2024 | 10:40:33 | 2 | 38,7 | 26 |
| | 19/11/2024 | 10:43:01 | 7 | 59,9 | 33 |
| | 20/11/2024 | 10:39:45 | 0 | 170,0 | 84 |
| | 20/11/2024 | 10:41:15 | 2 | 184,1 | 102* |
| | 20/11/2024 | 10:43:21 | 6 | 108,3 | 80 |
| | 21/11/2024 | 10:21:22 | 0 | 284,0 | 160 |
| | 21/11/2024 | 10:22:00 | 2 | 989,5 | 775 |
| | 21/11/2024 | 10:24:30 | 7 | >1000 | 1.406 |
| | 25/11/2024 | 11:47:52 | 0 | 18,5 | 15* |
| | 25/11/2024 | 11:48:32 | 2 | 14,6 | 15 |
| 25/11/2024 | 11:50:26 | 10 | 18,0 | 14* | |

A continuación, siguiendo con el punto P1, se muestra la representación gráfica (en forma de perfiles verticales) de los datos de turbidez (figura 8) y sólidos en suspensión (figura 9) adquiridos.

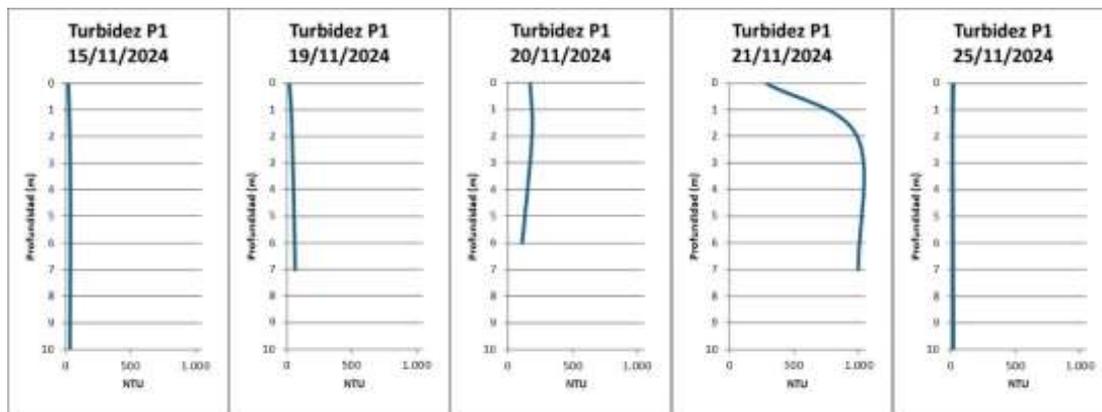


Figura 8. Representación gráfica en forma de perfiles verticales (de superficie a fondo) de los valores de turbidez (NTU) medidos en cada una de las campañas realizadas en el punto P1.

Para poder facilitar su comparación entre campañas y puntos, en las figuras presentes en este apartado, el eje horizontal tiene siempre el mismo rango de valores (de 0 a 1.050 NTU y de 0 a 1.500 mg/l de SS). Esta opción de presentación hace perder capacidad de discriminación en los valores más bajos, pero permite la plena comparación de resultados entre campañas (tiempo) y puntos de muestreo (espacio). Cabe indicar que la columna de agua estuvo casi siempre mezclada de arriba a abajo, excepto en la campaña del 21 de noviembre en la que se observa un notable aumento de la turbidez, y también de sólidos en suspensión, hacia el fondo, lo que refleja la existencia de una corriente de densidad profunda y relevante. Los cambios de

profundidad entre campañas responden, lógicamente, a la variación de cota del embalse y también a la inevitable deriva de la embarcación durante el muestreo con flujo intenso en el embalse, ya comentada.

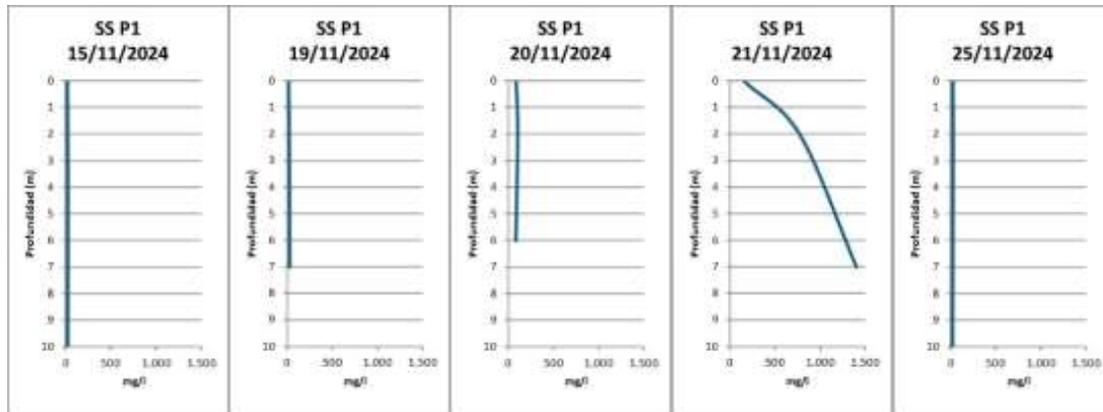


Figura 9. Representación gráfica en forma de perfiles verticales (de superficie a fondo) de los valores de Sólidos en Suspensión (SS; mg/l) medidos y calculados en cada una de las campañas realizadas en el punto P1.

La siguiente tabla 4 muestra los datos de turbidez y sólidos en suspensión del punto P2. Del mismo modo que para el punto P1, los valores marcados con un asterisco están calculados con la ecuación de la recta de la figura 7; el resto (3 muestras) son el resultado de los análisis de laboratorio realizados por LABAQUA, S.A.U.

Tabla 4. Datos de turbidez (medidas propias) y sólidos en suspensión obtenidos en el punto P2 a partir de los análisis de laboratorio (LABAQUA, S.A.U) y del cálculo por regresión lineal según la ecuación de la figura 7 (*).

| Punto | Fecha | Hora | Profundidad (m) | Turbidez (NTU) | Sólidos en suspensión (mg/l) |
|------------|------------|----------|-----------------|----------------|------------------------------|
| P2 | 15/11/2024 | 10:20:01 | 0 | 22,5 | 17* |
| | 15/11/2024 | 10:21:33 | 2 | 18,5 | 15* |
| | 15/11/2024 | 10:22:58 | 5 | 17,9 | 14* |
| | 15/11/2024 | 10:24:17 | 10 | 21,4 | 16* |
| | 15/11/2024 | 10:25:41 | 18 | 21,7 | 16* |
| | 19/11/2024 | 11:20:37 | 0 | 23,7 | 17* |
| | 19/11/2024 | 11:22:07 | 2 | 25,3 | 18* |
| | 19/11/2024 | 11:25:39 | 7 | 25,4 | 18* |
| | 19/11/2024 | 11:29:17 | 15 | 32,3 | 22* |
| | 20/11/2024 | 11:18:51 | 0 | 34,6 | 23* |
| | 20/11/2024 | 11:19:41 | 2 | 47,3 | 24 |
| | 20/11/2024 | 11:22:01 | 6 | 39,9 | 26* |
| | 20/11/2024 | 11:24:11 | 13 | 40,6 | 26* |
| | 21/11/2024 | 10:53:02 | 0 | 176,2 | 98* |
| | 21/11/2024 | 10:53:34 | 2 | 213,0 | 137 |
| | 21/11/2024 | 10:55:42 | 7 | 192,4 | 78 |
| | 21/11/2024 | 10:57:46 | 14 | 197,5 | 109* |
| | 25/11/2024 | 11:11:42 | 0 | 15,5 | 13* |
| 25/11/2024 | 11:12:22 | 2 | 20,7 | 16* | |

Tabla 4 (continuación). Datos de turbidez (medidas propias) y sólidos en suspensión obtenidos en el punto P2 a partir de los análisis de laboratorio (LABAQUA, S.A.U) y del cálculo por regresión lineal según la ecuación de la figura 7 (*).

| Punto | Fecha | Hora | Profundidad (m) | Turbidez (NTU) | Sólidos en suspensión (mg/l) |
|-------|------------|----------|-----------------|----------------|------------------------------|
| P2 | 25/11/2024 | 11:13:18 | 5 | 18,7 | 15* |
| | 25/11/2024 | 11:15:36 | 10 | 20,7 | 16* |
| | 25/11/2024 | 11:17:32 | 18 | 20,8 | 16* |

En las figuras 10 y 11, referidas al punto P2, se muestra la representación gráfica (en forma de perfiles verticales) de los datos de turbidez y sólidos en suspensión, respectivamente. De forma similar a lo apreciado para el punto P1 (figuras 8 y 9), en el punto P2, durante la campaña de 21 de noviembre, hay una punta de turbidez y de sólidos en suspensión, aunque, en comparación, de menor magnitud. Esta campaña se corresponde con la inyección al embalse de Riba-roja de la crecida realizada desde el embalse de Mequinzenza, lo que significa que fue ese escenario, a tenor de los resultados, el que supuso una mayor movilización de sedimentos.

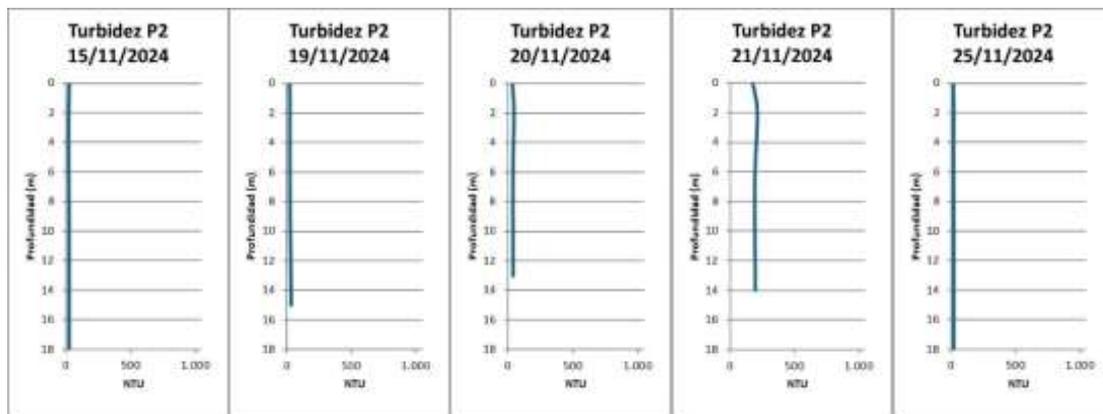


Figura 10. Representación gráfica en forma de perfiles verticales (de superficie a fondo) de los valores de turbidez (NTU) medidos en cada una de las campañas realizadas en el punto P2.

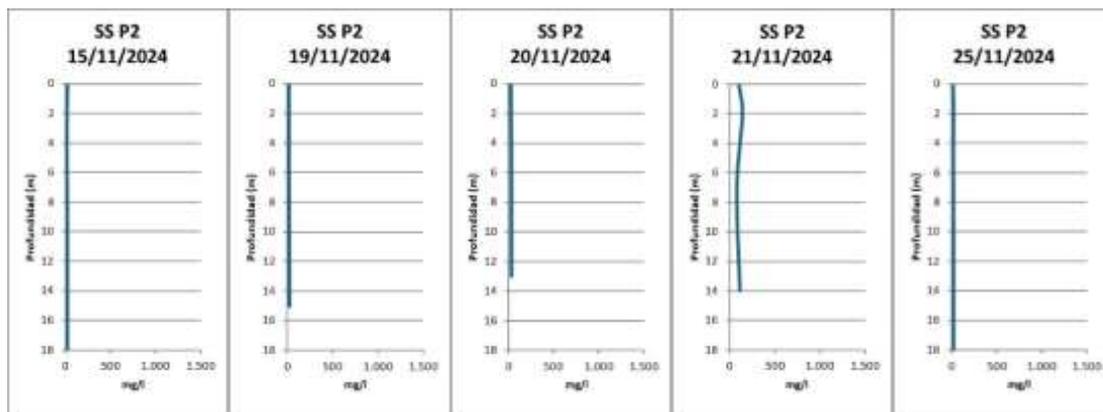


Figura 11. Representación gráfica en forma de perfiles verticales (de superficie a fondo) de los valores de Sólidos en Suspensión (SS; mg/l) medidos y calculados en cada una de las campañas realizadas en el punto P2.

En general, si se comparan los resultados obtenidos en los dos puntos de muestreo, se puede apreciar que los valores de turbidez y sólidos en suspensión medidos, como es lógico, fueron más altos en el punto P1 por el hecho de ser el más próximo a la intersección entre el río Ebro y el sistema Cinca-Segre.

4.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL AGUA

4.2.1. Medidas en superficie

En este apartado referido a la calidad fisicoquímica del agua se presentan unas graficas agrupadas (figura 12 y 13 referidas a los puntos P1 y P2, respectivamente) que muestran los valores medidos en superficie. Todos los datos medidos pueden encontrarse en el anexo I.

Como en el caso de la turbidez y los sólidos en suspensión, los cambios más acusados con relación al conjunto de las cinco campañas de muestreo realizadas tuvieron lugar en la campaña del 21 de noviembre, escenario que se corresponde con la inyección al embalse de Riba-roja, de la crecida realizada desde el embalse de Mequinenza. Pero hay también otros datos interesantes.

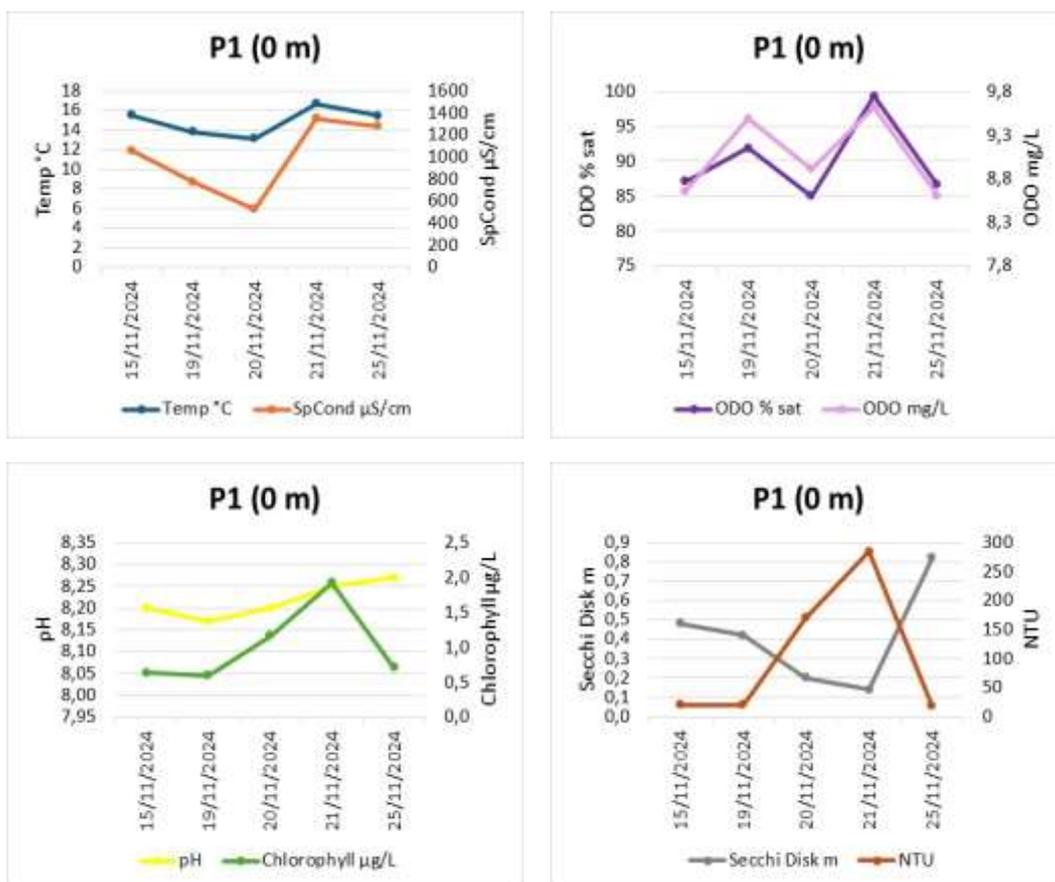


Figura 12. Evolución en superficie (0 m) de los parámetros medidos en el punto de control P1 en relación con la calidad fisicoquímica del agua durante las 5 campañas de muestreo. Aunque ya comentada en apartado anterior se representa la turbidez por su relación con la profundidad de visión del Disco de Secchi.

En las aguas superficiales del punto P1 (figura 12) la temperatura del agua y la conductividad eléctrica disminuyeron progresivamente con el descenso de cota, hasta alcanzar el valor mínimo en la tercera campaña cuando las aguas entrantes desde el sistema Cinca-Segre (más frías que las embalsadas) llegaron al máximo caudal. La entrada del volumen de agua procedente del embalse de Mequinenza que, por la fecha debía encontrarse mezclado de arriba abajo, determinó la recuperación de los valores ordinarios de temperatura y conductividad eléctrica en la cuarta campaña, situación que ya se mantuvo en la última campaña. En las aguas superficiales del punto P2 (figura 13) el comportamiento de la temperatura y la conductividad eléctrica fue

similar, sólo que con gradientes de descenso y ascenso más suaves y con un desfase temporal en la aparición de los valores mínimos hacia la campaña cuarta. Esta situación es la esperable habida cuenta la distancia entre ambos puntos y el tiempo de recorrido que requieren las aguas entrantes.

La concentración de oxígeno disuelto y el porcentaje de saturación en las aguas superficiales fue mucho más sensible a los cambios en el punto P1 (figura 12), donde se observaron oscilaciones de cierta entidad (>1 mg/l), frente a lo ocurrido en el punto P2 (figura 13) con poca variación y también con cierto desfase en el tiempo con relación a P1. La bajada de cota determinó un ascenso de la concentración de oxígeno disuelto en las aguas superficiales de ambos puntos, lo que significa que, con el embalse bajo, se mantuvo la actividad fotosintética algal en la columna de agua y que el lixiviado de los sedimentos emergidos, presuntamente poco o nada aireados, no fue importante en términos de concentración de oxígeno disuelto, al contrario de lo que se ha constatado en casos de vaciados de embalses.

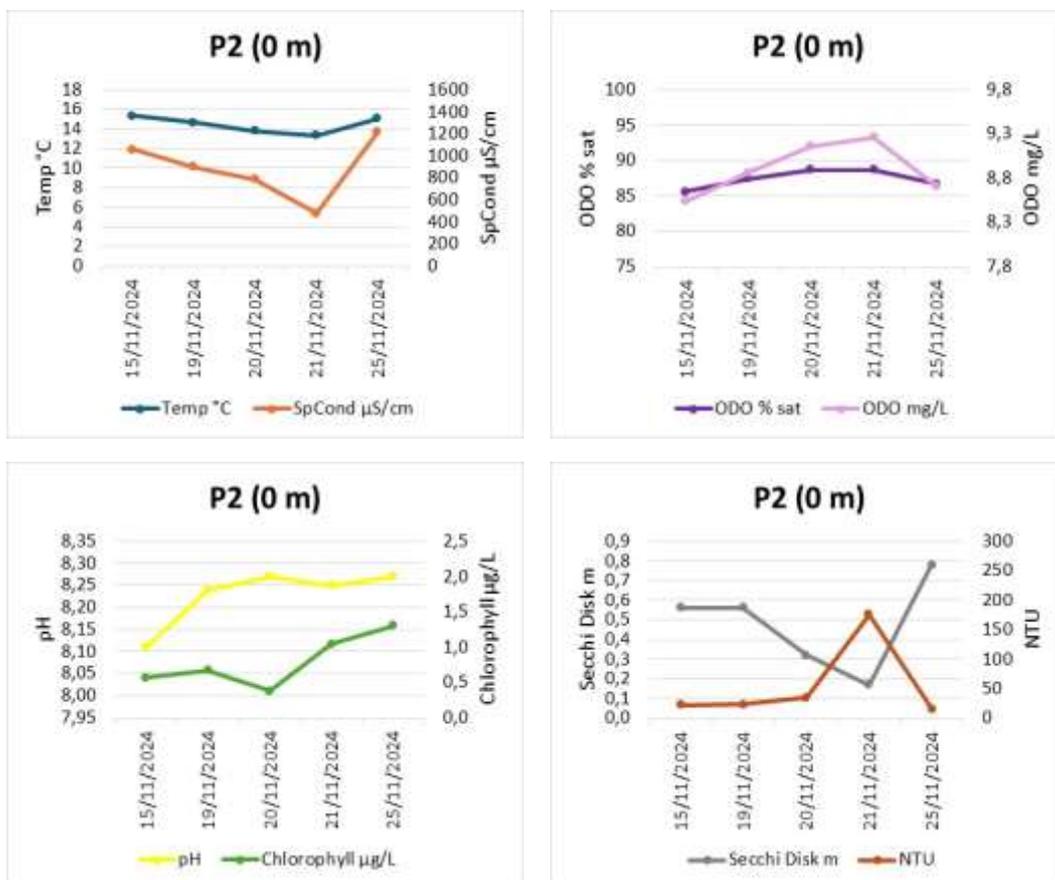


Figura 13. Evolución en superficie (0 m) de los parámetros medidos en el punto de control P2 en relación con la calidad fisicoquímica del agua durante las 5 campañas de muestreo. Aunque ya comentada en apartado anterior se representa la turbidez por su relación con la profundidad de visión del Disco de Secchi.

En la tercera campaña, con la entrada de las aguas del sistema Cinca-Segre, se observó un brusco descenso del oxígeno disuelto en el punto P1 que pudo deberse a la práctica anulación de la producción primaria (fotosíntesis) en la columna de agua como consecuencia del aumento de la turbidez, de manera que el embalse no se recuperó esos días del efecto del consumo de oxígeno disuelto durante las noches y se quedó en porcentajes de saturación algo inferiores a los ordinarios. Esta situación, no obstante, no se acopla con los resultados encontrados para la

concentración de clorofila en el punto P1 que aumentan en la tercera campaña sugiriendo un aumento de la biomasa algal en la columna de agua en dicho punto. Cabe indicar al respecto que, el incremento de clorofila en términos absolutos es pequeño y que es posible que la biomasa algal (y por extensión la concentración de clorofila) en el punto P1 pudiera haber aumentado en la tercera campaña a expensas de arrastres de algas transportadas con las aguas entrantes del sistema Cinca-Segre. Estas algas computarían como un aumento de biomasa algal, pero sin una contribución en la concentración de oxígeno disuelto en el agua debido a su quizás estado fisiológico alterado y, sobre todo, a las condiciones de turbidez imperantes. Cabe añadir que, en la cuarta campaña, las aguas procedentes del embalse de Mequinzenza determinaron en las aguas superficiales del punto P1 un aumento de la turbidez, coincidiendo con un aumento de la concentración de oxígeno y de la concentración de clorofila, lo cual es difícil de encajar. Podría ser que las aguas procedentes del embalse de Mequinzenza llegaran a P1 más aireadas por procesos físicos (turbulencia, aireación) y con algo de biomasa algal arrastrada desde el embalse superior.

Sin perjuicio de posibles imprecisiones en las determinaciones realizadas *in situ*, en estos estudios de seguimiento de procesos tan complejos como los asociados a los ensayos realizados, resulta fundamental (cuando no imprescindible) disponer de más puntos y campañas de muestreo para poder apreciar tendencias espaciales y temporales

En el punto P2, tal y como ya se ha indicado, el patrón seguido por la concentración de oxígeno disuelto fue mucho más estable (menor amplitud de variación) y más gradual en cuanto a los cambios temporales. En la cuarta campaña (entrada de las aguas procedentes del embalse superior de Mequinzenza) de nuevo coincidió un valor alto de turbidez, con incrementos en la concentración de oxígeno disuelto y de clorofila. En el caso del oxígeno disuelto, si se observa la estabilidad del porcentaje de saturación, se deduce que el aumento de concentración es debido a la menor temperatura del agua (efecto físico sobre la solubilidad). Con relación al aumento de clorofila, de nuevo podría tratarse de biomasa algal exportada desde el embalse superior.

Con relación al pH del agua superficial, la amplitud de variación es muy baja en términos absolutos y algo mayor en el punto P2 (8,10-8,25, aproximadamente). Son variaciones tan pequeñas que no admiten demasiada interpretación. En las aguas superficiales del punto P1 el pH descendió muy ligeramente en la segunda campaña de muestreo (cota mínima en el embalse de Riba-roja) y a continuación aumentó sensiblemente en el resto de las campañas, cerrando el muestreo (quinta campaña) con un valor algo más alto que en la situación de partida. En las aguas superficiales del punto P2, en cambio, se produjo el efecto contrario: el pH del agua aumento un poco en la segunda campaña y se mantuvo prácticamente estable el resto del tiempo, cerrando igualmente el ciclo de muestreo con un valor algo superior al inicial.

Finalmente, la siguiente tabla 5 muestra, en metros, la profundidad total de cada punto (Z), la profundidad de visión del Disco de Secchi (DS) y el cálculo del nivel de compensación (NC). El nivel de compensación indica la profundidad hasta la que es posible la actividad fotosintética. En el presente estudio este valor se ha obtenido a partir de la profundidad de visión del Disco de Secchi y la Ley de Lambert-Beer.

En la tabla 5, se observa como la amplitud de columna de agua, tomada desde la superficie, en la que es posible la actividad fotosintética, osciló en el punto P1 entre 0,38 m (campaña cuarta

bajo condiciones de máxima turbidez) y 2,22 m (campaña final). En el punto P2 la amplitud de variación fue algo menor y se concretó en las mismas campañas de muestreo, con el mínimo en la cuarta (0,46 m) y el máximo en la última (2,11). En valores medios el nivel de compensación fue de 1,12 m en P1 y de 1,30 en P2.

Tabla 5. Profundidad de la columna de agua (Z, m), profundidad de visión del Disco de Secchi (DS, m) y nivel de compensación (NC, m) en cada uno de los puntos de muestreo y campañas realizadas.

| Punto | Z/DS/ZF | 15/11/2024 | 19/11/2024 | 20/11/2024 | 21/11/2024 | 25/11/2024 |
|-------|---------|------------|------------|------------|------------|------------|
| P1 | Z | 11,70 | 8,60 | 8,30 | 8,90 | 11,70 |
| | DS | 0,48 | 0,42 | 0,20 | 0,14 | 0,82 |
| | NC | 1,30 | 1,14 | 0,54 | 0,38 | 2,22 |
| P2 | Z | 19,20 | 16,20 | 15,90 | 16,00 | 19,70 |
| | DS | 0,56 | 0,56 | 0,32 | 0,17 | 0,78 |
| | NC | 1,52 | 1,52 | 0,87 | 0,46 | 2,11 |

4.2.2. Perfiles verticales

A continuación, se presentan de forma gráfica los perfiles verticales (desde superficie a fondo) realizados en cada uno de los puntos y campañas de muestreo de las variables medidas (figuras 14-17). En primer lugar, se muestran los perfiles del punto P1 y, seguidamente, los del punto P2. La forma de ordenarlos permite apreciar la evolución temporal de cada variable. Todos los datos medidos pueden encontrarse en el anexo I.

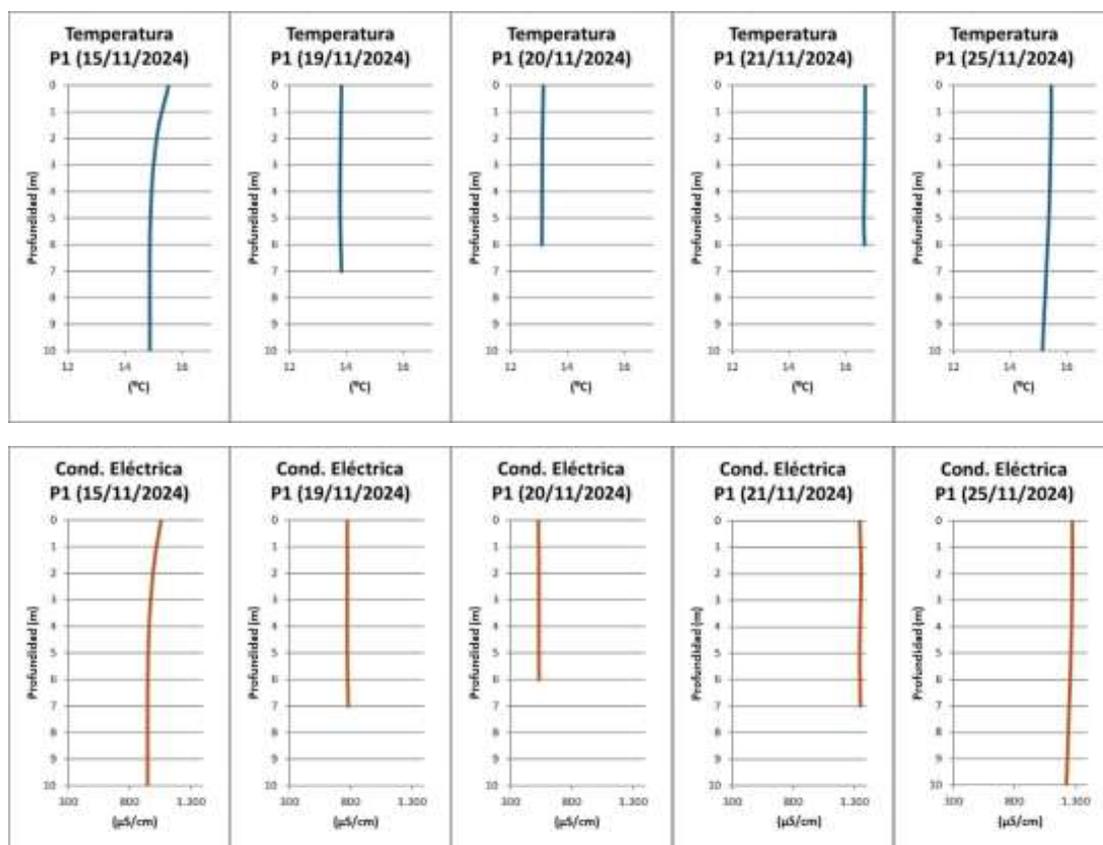


Figura 14. Perfiles verticales de temperatura y conductividad eléctrica, medidos en el punto P1 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

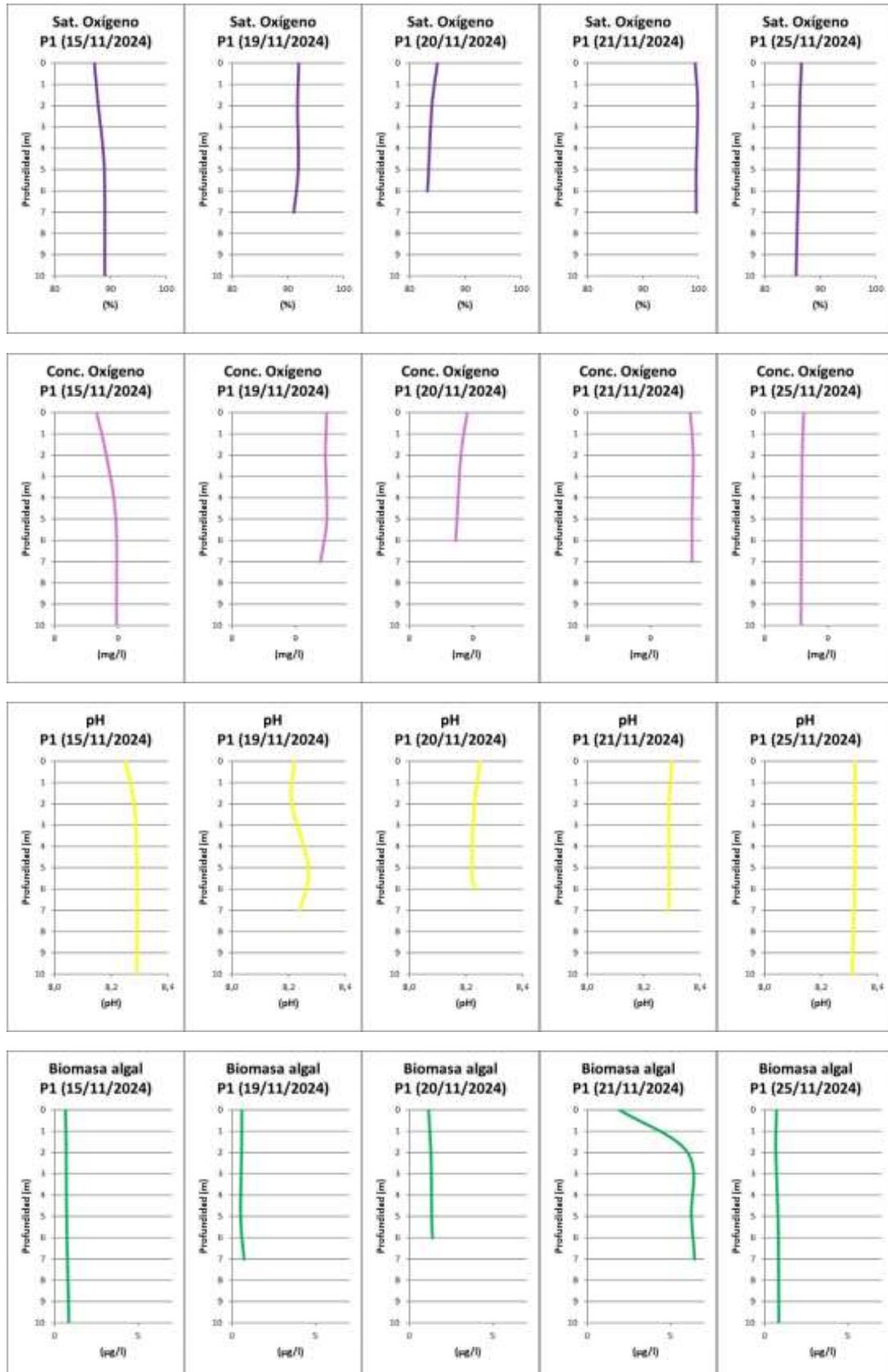


Figura 15. Perfiles verticales de porcentaje de saturación de oxígeno, concentración de oxígeno disuelto, pH y biomasa algal (concentración de clorofila), medidos en el punto P1 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

Todos los perfiles representados en las figuras 14 y 15 siguen un patrón vertical (gradiente superficie-fondo) indicativo de unas condiciones de mezcla completa de la columna de agua a excepción de la biomasa algal en la cuarta campaña, cuyo perfil se acopla a la perfección con el encontrado para la turbidez en la misma campaña (figura 8), lo que refuerza la hipótesis antes planteada sobre la exportación de biomasa algal desde el embalse de Mequinenza hacia el de Riba-roja en dicha campaña cuarta. Otras variables que también muestran sensibles gradientes verticales son el oxígeno disuelto y el pH. La columna de agua se fue enfriando desde la primera campaña hasta la tercera (nivel bajo de embalse y entrada de la crecida procedente del sistema Cinca-Segre), para después calentarse en la cuarta campaña (nivel bajo de embalse y entrada de la crecida procedente del embalse de Mequinenza) y recuperar una situación similar a la original en la última campaña. La conductividad eléctrica siguió un patrón muy similar dado que las aguas del sistema Cinca-Segre presentan un grado de mineralización mucho más bajo que las del Ebro.

Por su parte, la concentración de oxígeno disuelto mantuvo la lógica relación inversa con la temperatura durante las dos primeras campañas y en la última; mientras que en la tercera y la cuarta campaña la relación entre ambas variables fue directa: la columna del embalse disminuyó su temperatura y su concentración de oxígeno disuelto en la tercera campaña y los aumentó en la cuarta, lo que significa que otros factores distintos a la relación de solubilidad debieron intervenir. En la tercera campaña las aguas entrantes del sistema Cinca-Segre enfriaron la columna de agua embalsada en Riba-roja y la turbidez generada por la remoción de sedimentos con el embalse bajo, determinó un descenso (o contención) del contenido de oxígeno en el agua, tal y como ya se ha indicado en el apartado referido a los datos de las aguas superficiales. En la campaña cuarta, aumentó la temperatura de la columna de agua y también la concentración de oxígeno disuelto, de acuerdo con el aporte de agua desde el embalse de Mequinenza, a mayor temperatura y más aireada.

En el punto P2 los perfiles verticales de temperatura y conductividad eléctrica (figura 16), que son los que mejor definen la densidad del agua, en condiciones naturales, muestran como en el caso del punto P1 la homogeneización de la columna de agua. La diferencia con respecto a P1 está en el desfase de la campaña en la que se presenta el mínimo de temperatura y conductividad eléctrica; fue la tercera campaña en el caso del punto P1 y la cuarta en el caso del punto P2. Tal y como ya se ha comentado en un apartado anterior, estos resultados son el efecto de la crecida del sistema Cinca-Segre, que se manifiesta antes en la zona de cola (P1) y más tarde en P2, más próximo a la presa.

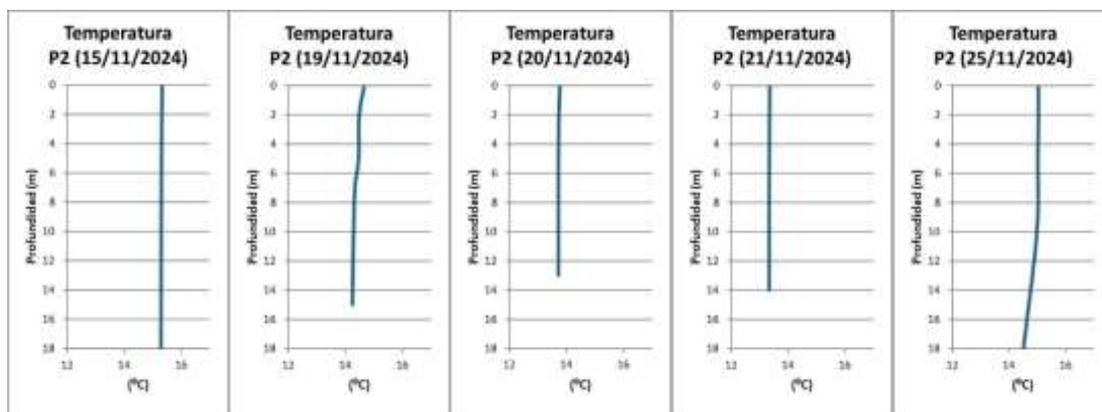


Figura 16. Perfiles verticales de temperatura y conductividad eléctrica, medidos en el punto P2 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

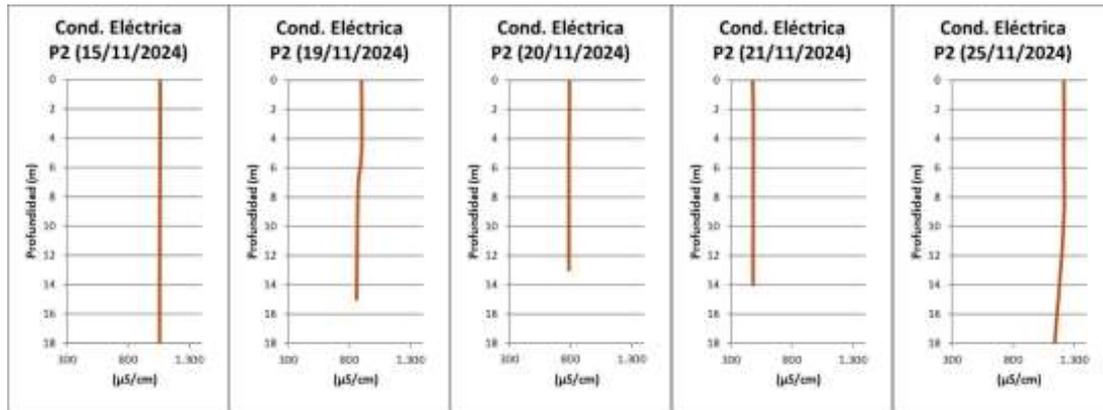


Figura 16 (continuación). Perfiles verticales de temperatura y conductividad eléctrica, medidos en el punto P2 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

En el punto P2, la relación inversa esperable entre la temperatura y el oxígeno disuelto (figura 13) se mantiene en todas las campañas de muestreo, lo que significa que en este punto la concentración de oxígeno disuelto estuvo exclusiva o mayoritariamente gobernada por el proceso físico de la relación de la solubilidad.

El pH en el punto P2 (figura 17) presentó cierto gradiente en la primera y cuarta campañas, con valores algo más bajo hacia el fondo y acabó el ciclo de muestreo con unos valores sensiblemente superiores a los de partida.

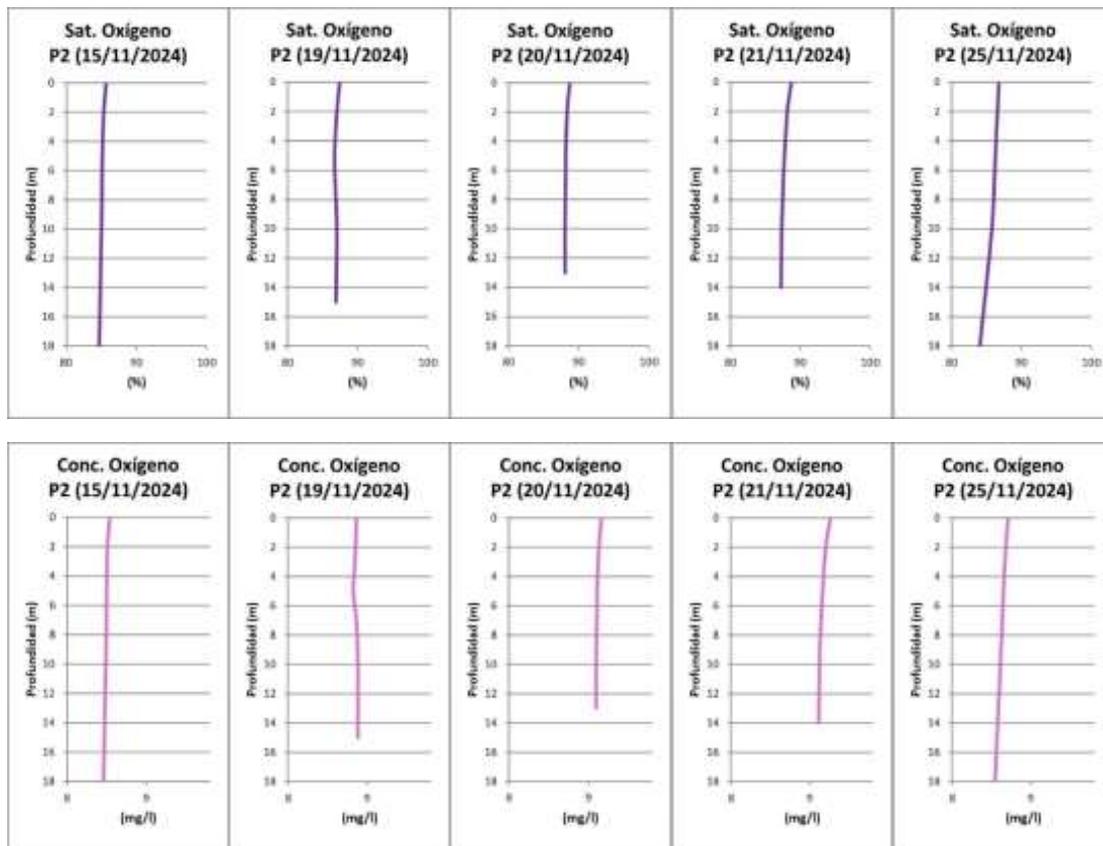


Figura 17. Perfiles verticales de saturación y concentración de oxígeno disuelto, pH y biomasa algal (concentración de clorofila), medidos en el punto P2 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

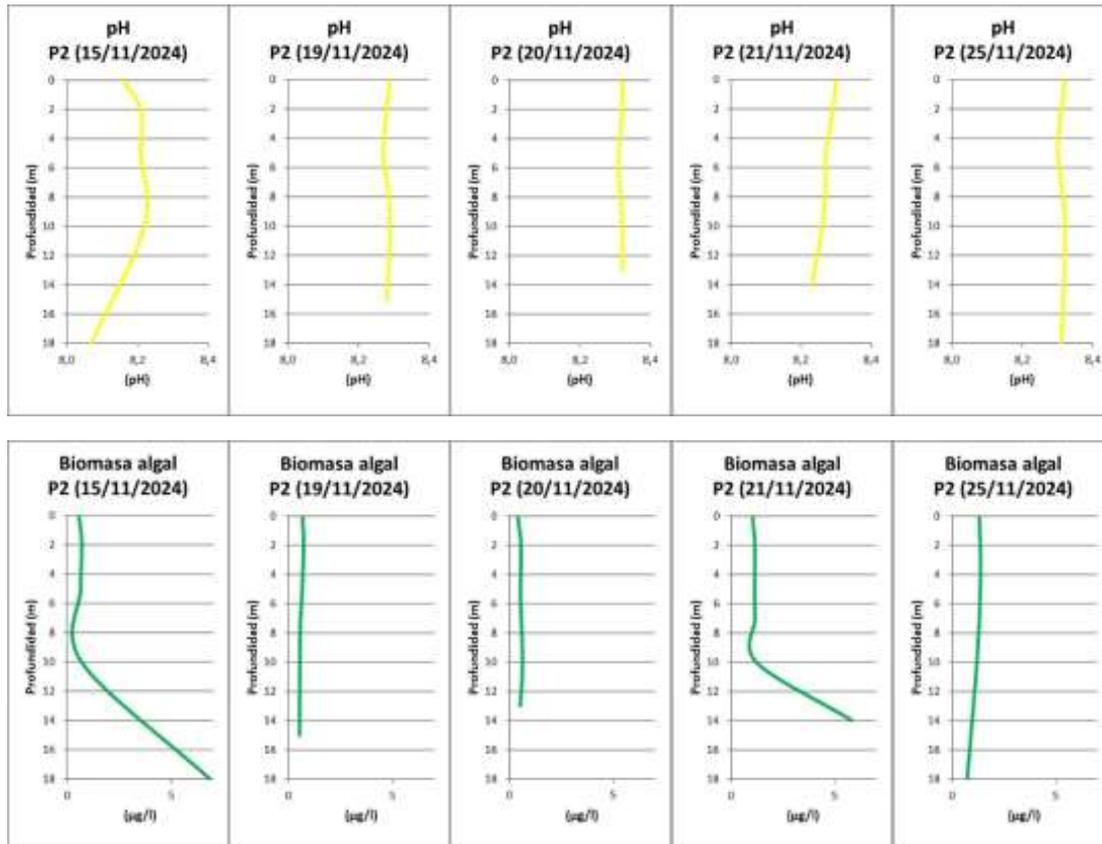


Figura 17 (continuación). Perfiles verticales de saturación y concentración de oxígeno disuelto, pH y biomasa algal (concentración de clorofila), medidos en el punto P2 en cada una de las 5 campañas de muestreo realizadas.

La biomasa algal en el punto P2 (figura 17), como ocurrió en P1, es la variable medida con gradientes verticales más acusados. En la primera y la cuarta campaña, presentó valores más altos hacia el fondo de la columna de agua. En el caso de la primera campaña, con un nivel de compensación situado a 1,52 m (tabla 5), cabe pensar en la posibilidad de una resuspensión accidental de sedimento durante la toma de muestras. En el caso de la cuarta campaña, la causa más probable del aumento de la concentración de clorofila en profundidad, que coincide con lo observado en P1, puede buscarse en la circulación profunda de la corriente de densidad generada con la maniobra de suelta de agua desde el embalse de Mequinzenza sobre un embalse de Riba-roja con la cota de agua rebajada.

5. CONCLUSIONES

A nivel de conclusiones de los trabajos realizados con relación al seguimiento limnológico de las operaciones de movilización de sedimento en la cola y eje del embalse de Riba-roja, se destacan los siguientes puntos:

- La caracterización limnológica ha permitido reconocer la organización espacial y temporal del embalse de Riba-roja durante las operaciones de movilización de sedimento en la cola y el eje del embalse. Este hecho es fundamental para entender el sistema estudiado de una forma más integrada y poder así mejorar su gestión.

- Las fechas escogidas para los muestreos se adecuaron perfectamente a las maniobras realizadas y coordinadas por la Confederación Hidrográfica del Ebro pudiendo así conocer sus efectos. Los puntos seleccionados permitieron caracterizar dos escenarios distintos.
- La realización de más puntos de control y campañas de muestreo hubiera proporcionado un mayor conocimiento sobre la evolución espacial y temporal, respectivamente, de las operaciones realizadas. Considerar más variables hubiera proporcionado, también, más información. En este sentido, sería de gran interés la incorporación en futuras maniobras similares de los registros de calidad de agua medidos en la presa de Riba-roja mediante una sonda multiparamétrica EXO-3 instalada por Endesa.
- Estas ocasiones propician escenarios únicos importantes de estudiar para posibles mejoras en sus desarrollos futuros y para enriquecer el conocimiento científico.
- Las operaciones realizadas generaron un aumento de turbidez y de sólidos en suspensión en los puntos de control considerados, especialmente la campaña del 21 de noviembre. Este aumento se disipó en el espacio (disminución entre el punto P1 y P2).
- En el punto P1, durante la campaña del 21 de noviembre, los mayores valores de turbidez se obtuvieron en profundidad reflejando así la existencia de una corriente de densidad profunda y relevante. Este hecho muestra la importancia de tener en cuenta toda la columna de agua.
- Las maniobras de movilización de sedimento en la cola y el eje del embalse de Riba-roja no generaron cambios significativos sobre las variables fisicoquímicas medidas. Las variables sensiblemente modificadas fueron la temperatura, la conductividad eléctrica del agua, el pH y la biomasa algal. Cabe destacar que la masa de agua considerada se encontró mezclada de arriba abajo (sin estratificación).
- La campaña que presentó unas mayores diferencias, en relación con la fisicoquímica del agua, fue la del 21 de noviembre.

6. AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Confederación Hidrográfica del Ebro el hecho de poner a nuestra disposición la embarcación necesaria para poder realizar los muestreos dentro del embalse de Riba-roja. En este apartado no puede faltar también la mención a Batiste Niñerola quien manejo dicha embarcación 4 de los 5 días.

ANEXO I

TABLAS DE RESULTADOS