



Cofinanciado por
la Unión Europea



MINISTERIO
DE HACIENDA



Fondos Europeos



GOBIERNO
DE ARAGON

MEMORIA ANUAL 2023

Servicio de Seguimiento Hidrogeológico de Bailín, Sabiñánigo (Huesca)
Expediente 1404-4422-2019/18
Prórroga 1 de mayo 2023 a 7 septiembre 2024

Gobierno de Aragón

Project number: 60694688
Referencia informe: 2024/106

10 junio 2024

Preparado por

Nacho Júdez
Consultor

Revisado por

Tatiana Alonso
Jefa de Proyecto

Verificado por

David Alcalde
Director de Proyecto

Aprobado por

Tatiana Alonso
Jefa de Proyecto

Historial de revisión

Revisión	Fecha de revisión	Detalles	Autorizado	Nombre	Posición

Lista de distribución

#Copias impresas	PDF requerido	Asociación/ Nombre de la compañía

Preparado para:
Gobierno de Aragón

Preparado por:
Nacho Júdez

AECOM Spain DCS S.L.
c/ Alfonso XII, 62
5ª planta
28014 Madrid
Spain

T: + 34 915 487 790
aecom.com

© 2023 AECOM Spain DCS S.L. Todos los Derechos Reservados.

Este documento ha sido preparado por AECOM Spain DCS S.L. ("AECOM") para único uso del cliente (el "Cliente") en relación con los principios de consultoría, aceptados de manera general; el presupuesto de tasas y los términos de referencia acordados entre AECOM y el Cliente. Cualquier información proporcionada por terceros y mencionada a los presentes no ha sido verificada por AECOM, a excepción de que se declare lo contrario en el documento. Ningún tercero podrá apoyarse en el presente documento sin la autorización y un acuerdo escrito de AECOM.

Contenidos

1.	Introducción	8
2.	Actuaciones de seguimiento y control	9
2.1	Registro de precipitaciones	9
2.2	Campañas de medición de niveles de agua subterránea y espesores aparentes de DNAPL.....	10
2.2.1	Evolución de niveles de agua subterránea en la capa M.....	11
2.2.2	Evolución de los niveles de agua subterránea en otras capas	14
2.2.3	Evolución de espesores aparentes de DNAPL	15
2.3	Extracción de DNAPL y agua contaminada	17
2.3.1	Evolución rendimientos de extracción.....	18
2.3.2	Equivalencia en masa de los volúmenes extraídos	18
2.4	Control de caudales.....	20
2.5	Campañas de muestreo semestral.....	22
2.5.1	Medición de parámetros físico-químicos	24
2.5.2	Resultados analíticos de la campaña de muestreo semestral	26
2.5.3	Evolución de la pluma de afección	30
2.5.4	Control de calidad. Duplicados.....	33
2.6	Campañas de muestreo mensual.....	34
2.7	Seguimiento del sistema de drenaje ubicado en la Zona 0	38
3.	Campañas de conductividad y temperatura	41
4.	Actuaciones de mantenimiento.....	44
4.1	Actuaciones de mantenimiento correctivo.....	44
4.2	Actuaciones de mejora de las instalaciones	45
4.3	Otros trabajos	45
5.	Perforación de sondeos.....	45
5.1	Sondeos balsa infiltración y Zona de Barrera	46
5.1.1	Ubicación y características de los sondeos	46
5.1.2	Testificación de sondeos	47
5.1.3	Seguimiento hidrogeoquímico de los nuevos sondeos en Zona de Barrera	52
5.2	Sondeos capa M Zona 0	53
5.2.1	Ubicación y características de los sondeos	54
5.2.2	Testificación de sondeos	54
5.2.3	Seguimiento hidrogeoquímico de los nuevos sondeos en Zona 0.....	57
5.3	Nivelación topográfica	59
6.	Muestreadores pasivos de flujo	60
6.1	Introducción	60
6.2	Conceptos de flujo y descarga de masa	60
6.3	Metodología.....	62
6.4	Aplicación de los muestreadores pasivos de flujo en la Zona de Descarga	63
6.5	Instalación y muestreo de los muestreadores pasivos.....	64
6.6	Resultados de la campaña de iFlux	64
6.7	Resultados de la campaña de PFM	66
6.8	Evolución del flujo y descarga de masa en Zona de Descarga	70
6.9	Balance de masas	72
6.10	Conclusiones del estudio de Descarga de Masa en Zona de Descarga	73
7.	Ensayo de infiltración en zona vadosa	74
7.1	Construcción de la balsa	74
7.2	Pruebas de infiltración	76
7.3	Ensayo de trazadores.....	78

7.3.1	Parámetros de operación y monitorización del ensayo	78
7.3.2	Ejecución del ensayo.....	80
7.3.3	Resultados del ensayo de trazadores	80
7.3.4	Conclusiones del ensayo de trazadores	91
8.	Ensayos de biorremediación	91
8.1	Trabajos de biorremediación desarrollados en laboratorio	91
8.1.1	Ensayo de bioestimulación con agua de P168	91
8.1.2	Ampliación de los estudios de caracterización en laboratorio para la implantación de un biorreactor en campo.....	95
8.1.3	Ensayo de bioestimulación con agua de P177	98
8.1.4	Ensayo de minibiorreactor de laboratorio para valorar la volatilidad	101
8.2	Ensayos piloto de biorremediación en campo.....	103
8.2.1	Ensayo de bioestimulación en campo.....	103
8.2.2	Biorreactor anaeróbico en campo (ISBR)	109

Anexos

Anexo A.	Inventario
Anexo B.	Reportaje fotográfico
Anexo C.	Perforación de sondeos
Anexo D.	Certificados analíticos

Figuras

Figura 1.	Áreas impactadas por DNAPL en la actualidad.....	15
Figura 2.	Distribución de la conductividad, redox y pH en profundidad capa M (abril 2023)	25
Figura 3.	Distribución de la conductividad, redox y pH en profundidad la capa M (octubre 2023)	26
Figura 4.	Distribución de la afección por benceno. Vista en planta (abril 2023)	26
Figura 5.	Distribución de la afección por benceno. Vista en planta (octubre 2023)	27
Figura 6.	Distribución de la afección por monoclorobenceno. Vista en planta (abril 2023).....	27
Figura 7.	Distribución de la afección por monoclorobenceno. Vista en planta (octubre 2023)	28
Figura 8.	Distribución de la afección por HCH total. Vista en planta (abril 2023).....	28
Figura 9.	Distribución de la afección por HCH total. Vista en planta (octubre 2023)	29
Figura 10.	Distribución de la afección por benceno, clorobenceno y HCH total. Vista en perfil de la capa M (abril 2023)	29
Figura 11.	Distribución de la afección por benceno, clorobenceno y HCH total. Vista en perfil de la capa M (octubre 2023)	30
Figura 12.	Ubicación de los sondeos incluidos en la campaña mensual de muestreo	34
Figura 13.	Sistema de drenaje Zona 0 esquematizado	38
Figura 14.	Fotografías de las 3 arquetas del sistema de drenaje de la Zona 0	38
Figura 15.	Ubicación de la balsa donde se han perforado los sondeos	46
Figura 16.	Localización de los nuevos sondeos perforados en Zona de Barrera	47
Figura 17.	Detalle de la fractura con DNAPL del sondeo BAL1 (2,2-5 m).....	48
Figura 18.	Abundancia de fracturas verticales en el sondeo BAL2 (2,5-4,9 m)	48
Figura 19.	Detalle de la fractura con alta conexión en el sondeo I1S (11,9-12 m).....	51
Figura 20.	Detalle de la fractura con las manchas negras (30,1-32 m).....	52
Figura 21.	Localización de los nuevos sondeos de investigación en Zona 0	54
Figura 22.	Detalle de la fractura en P225 con restos de DNAPL (25,6 m)	56
Figura 23.	Detalle de la fractura en P227 con restos de DNAPL (22 m)	57
Figura 24.	Esquema de un transecto perpendicular a la dirección de flujo	60
Figura 25.	Esquema conceptual del transecto de control de la Zona de Descarga	62
Figura 26.	Instalación iFlux	62
Figura 27.	Instalación PFM	62
Figura 28.	Esquema comparativo de instalación de los PFM y iFlux y de los tramos evaluados	63

Figura 29. Ubicación de la balsa de infiltración en el vaso.....	75
Figura 30. Distribución de los sondeos de actuación en la balsa (vista general y detalle)	75
Figura 31. Fotografías de la balsa de infiltración.....	75
Figura 32. Cronograma de perfiles de conductividad	79
Figura 33. Cronograma de muestreos y medición de parámetros físico-químicos	79
Figura 34. Perfil sondeos zona de ensayo.....	80
Figura 35. Tiempo de llegada del frente de agua en los sondeos de control (comienzo de ascensos de nivel).....	83
Figura 36. Tiempo en el que se detecta el pico de nivel máximo en los sondeos de control.....	83
Figura 37. Trabajos realizados durante el ensayo de bioestimulación de laboratorio.....	93
Figura 38. Localización de los nuevos puntos propuestos para la reubicación del biorreactor	96
Figura 39. Apariencia de las diferentes condiciones del ensayo después de dos meses (t2)	100
Figura 40. Trabajos de preparación del ensayo de volatilización	101
Figura 41. Monitorización del ensayo en Minibio y toma de muestras	101
Figura 42. Trabajos asociados al ensayo de bioestimulación en la Zona de Barrera	103
Figura 43. Zona de ensayo y tratamientos llevados a cabo en el ensayo de bioestimulación en campo	105
Figura 44. Trabajos de caracterización microbiológica dentro del ensayo de bioestimulación	106
Figura 45. Ubicación del sondeo P186 para el ensayo ISBR.....	110
Figura 46. Esquema y fotografías del sistema ISBR	110
Figura 47. Trabajos previos asociados al ensayo ISBR	111

Gráficas

Gráfica 1. Evolución de la precipitación (1 enero-31 diciembre 2023).....	9
Gráfica 2. Evolución de la precipitación anual (2013 a 2023)	9
Gráfica 3. Evolución de niveles de agua en el Vaso / Zona 0 (1 enero-31 diciembre 2023).....	12
Gráfica 4. Evolución de niveles de agua en el Barranco 3 (1 enero-31 diciembre 2023)	12
Gráfica 5. Evolución de niveles de agua en la Zona de Barrera (1 enero-31 diciembre 2023).....	13
Gráfica 6. Evolución de niveles de agua en el Barranco 4 (1 enero-31 diciembre 2023)	13
Gráfica 7. Evolución niveles agua aguas abajo Barranco 4/Zona de Descarga (1 enero-31 diciembre 2023)	13
Gráfica 8. Evolución niveles de agua sondeos capa O Zona de Barrera (1 enero-31 diciembre 2023)	14
Gráfica 9. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Vaso (1 enero-31 diciembre 2023).....	15
Gráfica 10. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Zona 0 (1 enero-31 diciembre 2023) ..	16
Gráfica 11. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Zona 0 – Barranco 3 (1 enero-31 diciembre 2023)	16
Gráfica 12. Volúmenes de agua y DNAPL extraídos (l) por capa en 2023.....	17
Gráfica 13. Volúmenes de agua y DNAPL extraídos (l) por sondeo en 2023.....	17
Gráfica 14. Evolución del volumen de DNAPL extraído desde 2010	18
Gráfica 15. Masa extraída contaminantes principales por capa y zona (g) en bombeos agua subterránea	19
Gráfica 16. Masa extraída contaminantes principales por capa y zona (g) en bombeos DNAPL.....	20
Gráfica 17. Evolución de caudales estación aforo A319 – Río Gállego (1 enero-31 diciembre 2023). 21	
Gráfica 18. Evolución de caudales estación aforo A312 – Barranco Bailín (1 enero-31 diciembre 2023)	21
Gráfica 19. Evolución de precipitación vs eventos de muestreo del año 2023	22
Gráfica 20. Distribución de la concentración promedio de benceno por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023).....	31
Gráfica 21. Distribución de la concentración promedio de monoclorobenceno por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023).....	31
Gráfica 22. Distribución de la concentración promedio de los clorobencenos (>1 Cl) por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023)	31
Gráfica 23. Distribución de la concentración promedio de HCH total por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023).....	31
Gráfica 24. Evolución de las proporciones en los diferentes compuestos campañas semestrales muestreo (noviembre 2010-octubre 2023).....	33

Gráfica 25. Evolución de las concentraciones de benceno en P222, P129 y P171 (2016-2023).....	35
Gráfica 26. Evolución de las concentraciones de monoclorobenceno en P222, P129 y P171 (2016-2023).....	35
Gráfica 27. Evolución de las concentraciones de HCH total en P222, P129 y P171 (2016-2023).....	35
Gráfica 28. Evolución de las concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total en los sondeos P140, P142 y P126 (octubre 2015-diciembre 2023).....	37
Gráfica 29. Evolución de caudales (m ³ /día) y concentraciones de HCH total (µg/l) en las Arquetas 2 y 3 de la Zona 0 (junio-diciembre 2023).....	40
Gráfica 30. Distribución de la temperatura. Campaña junio 2023.....	42
Gráfica 31. Distribución de la temperatura. Campaña diciembre 2023.....	42
Gráfica 32. Distribución de la conductividad. Campaña junio 2023.....	43
Gráfica 33. Distribución de la conductividad. Campaña diciembre 2023.....	43
Gráfica 34. Evolución de niveles de agua de los sondeos de control seleccionados durante la perforación de los nuevos sondeos I1S y O1S.....	52
Gráfica 35. Evolución de los niveles piezométricos de los sondeos de control seleccionados durante la perforación de los nuevos sondeos en Zona 0.....	57
Gráfica 36. Evolución niveles sondeos nuevos durante el bombeo en P52.....	58
Gráfica 37. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P141.....	65
Gráfica 38. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P140.....	65
Gráfica 39. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142.....	66
Gráfica 40. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P141.....	69
Gráfica 41. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P140.....	69
Gráfica 42. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142.....	70
Gráfica 43. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142.....	71
Gráfica 44. Balance de masas río Gállego enero y diciembre 2023.....	73
Gráfica 45. Evolución de los niveles de agua en sondeos Vaso-Zona 0 a Barranco 3.....	81
Gráfica 46. Evolución de los niveles de agua en sondeos Barranco 3 a Zona Barrera.....	81
Gráfica 47. Evolución de los niveles de agua en sondeos Barranco 4 a Zona Descarga.....	81
Gráfica 48. Perfiles de conductividad en profundidad durante el ensayo de trazadores.....	84
Gráfica 49. Evolución de la concentración de bromuro y cloruros durante el ensayo de trazadores ..	87
Gráfica 50. Evolución de niveles vs concentración de bromuro sondeos Zona 0 a Barranco 3.....	90
Gráfica 51. Evolución de niveles vs concentración de bromuro sondeos Zona Barrera.....	90
Gráfica 52. Evolución de la concentración de microorganismos (UFC/ml) en cada una de las condiciones estudiadas.....	94
Gráfica 53. Caracterización microbiológica de los sondeos candidatos a nueva ubicación del biorreactor.....	96
Gráfica 54. Evolución de las concentraciones microbiológicas y de HCH en las diferentes condiciones del ensayo del incubador orbital.....	99
Gráfica 55. Evolución de la concentración de los isómeros de HCH durante la prueba de volatilización.....	102
Gráfica 56. Concentración de benceno y clorobencenos durante la prueba de volatilización.....	102
Gráfica 57. Concentraciones de microorganismos (UFC/ml), persulfato (g/l) y conductividad (µS/cm) sondeos ensayo bioestimulación.....	104
Gráfica 58. Evolución de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del ensayo.....	107
Gráfica 59. Evolución de las concentraciones de microorganismos en los sondeos de ensayo.....	108

Tablas

Tabla 1. Sondeos de control diario (<i>diver</i> o LORA).....	10
Tabla 2. Sondeos de control semanal (sonda hidronivel).....	11
Tabla 3. Sondeos de control trimestral (sonda hidronivel).....	11
Tabla 4. Sondeos de control anual (sonda hidronivel).....	11
Tabla 5. Volúmenes de agua extraídos y concentraciones promedio por zona y capa en 2023.....	19
Tabla 6. Volúmenes de DNAPL extraídos y proporción promedio contaminantes en las muestras de DNAPL analizadas en 2017.....	20
Tabla 7. Estaciones de aforo ubicadas en el entorno del emplazamiento.....	20
Tabla 8. Relación de muestras tomadas en las campañas semestrales de muestreo de 2023.....	23
Tabla 9. Resultados analíticos (µg/l) muestras de contraste (abril 2023).....	33

Tabla 10. Resultados analíticos ($\mu\text{g/l}$) muestras de contraste (octubre 2023).....	33
Tabla 11. Distribución de ORCs en los sondeos de control.....	35
Tabla 12. Caudales medidos en el sistema de drenaje Zona 0 (junio-diciembre 2023).....	39
Tabla 13. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total (junio-diciembre 2023)	40
Tabla 14. Descripción litológica del sondeo BAL1	47
Tabla 15. Descripción litológica del sondeo BAL2	48
Tabla 16. Descripción litológica del sondeo BAL3	49
Tabla 17. Descripción litológica del sondeo BAL4	49
Tabla 18. Descripción litológica del sondeo BAL5	49
Tabla 19. Descripción litológica del sondeo BAL6	50
Tabla 20. Descripción litológica del sondeo BAL7	50
Tabla 21. Descripción litológica del sondeo BAL8	50
Tabla 22. Descripción litológica del sondeo I1S.....	50
Tabla 23. Descripción litológica del sondeo O1S.....	51
Tabla 24. Parámetros físico-químicos (8 agosto 2023)	53
Tabla 25. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total (8 agosto 2023).....	53
Tabla 26. Descripción litológica del sondeo P224	55
Tabla 27. Descripción litológica del sondeo P225	55
Tabla 28. Descripción litológica del sondeo P226	56
Tabla 29. Descripción litológica del sondeo P227	56
Tabla 30. Parámetros físico-químicos nuevos sondeos Zona 0	59
Tabla 31. Concentración contaminantes principales nuevos sondeos Zona 0.....	59
Tabla 32. Coordenadas UTM ETRS89 y profundidades de los nuevos sondeos.....	59
Tabla 33. Flujo de masa de benceno, clorobenceno y HCH total ($\text{mg/m}^2/\text{día}$) reportado para cada tramo en los sondeos de la Zona de Descarga	64
Tabla 34. Resultados obtenidos para la Descarga de Masa en Zona de Descarga (enero 2023).....	66
Tabla 35. Comparación en los resultados de HCH total en carbón activo (mg/kg)	67
Tabla 36. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total ($\mu\text{g/l}$) para el cálculo del flujo de masa y velocidad de Darcy (cm/día) en los sondeos de la Zona de Descarga.....	67
Tabla 37. Flujo de masa de benceno, clorobenceno y HCH total ($\text{mg/m}^2/\text{día}$) calculado para cada tramo en los sondeos de la Zona de Descarga	68
Tabla 38. Resultados obtenidos para la Descarga de Masa en Zona de Descarga (diciembre 2023) 70	
Tabla 39. Comparación velocidad de flujo (cm/día) Zona Descarga (2015-2023)	70
Tabla 40. Comparación flujo de masa de benceno ($\text{mg/m}^2/\text{día}$) Zona Descarga (2015-2023)	70
Tabla 41. Comparación flujo de masa de clorobenceno ($\text{mg/m}^2/\text{día}$) Zona Descarga (2015-2023)	71
Tabla 42. Comparación flujo de masa de HCH total ($\text{mg/m}^2/\text{día}$) Zona Descarga (2015-2023)	71
Tabla 43. Comparación Descarga de Masa benceno, clorobenceno y HCH total (g/año) Zona Descarga (2015-2023)	71
Tabla 44. Parámetros analizados en el agua de balsa al inicio del ensayo	78
Tabla 45. Resumen sondeos y parámetros monitorización ensayo	78
Tabla 46. Concentraciones (mg/l) de nutrientes en el agua del sondeo P168	92
Tabla 47. Condiciones estudiadas durante el ensayo de bioestimulación en el incubador orbital.....	92
Tabla 48. Concentraciones de HCH total ($\mu\text{g/l}$) en los diferentes muestreos de evolución realizados 94	
Tabla 49. Concentraciones de contaminantes principales ($\mu\text{g/l}$) en las muestras seleccionadas para el estudio del biorreactor.....	97
Tabla 50. Concentraciones de nutrientes principales en las muestras seleccionadas para el estudio del biorreactor	97
Tabla 51. Configuración del ensayo de bioestimulación en el incubador orbital	98
Tabla 52. Concentración nutrientes (P, TOC, TN).....	102
Tabla 53. Parámetros físico-químicos ensayo de bioestimulación en campo (7 de febrero 2023)	104
Tabla 54. Cronograma de las actuaciones del ensayo de aireación en la Zona de Barrera	105
Tabla 55. Evolución de los parámetros físico-químicos a lo largo del ensayo	106
Tabla 56. Evolución de las concentraciones de benceno, monoclorobenceno y HCH total.....	109

1. Introducción

El presente documento, elaborado por AECOM SPAIN DCS S.L. (en adelante, AECOM), corresponde a la Memoria Anual del año 2023, dentro del marco del contrato del **Servicio de Seguimiento Hidrogeológico de Bailín, Sabiñánigo (Huesca), Prórroga de 1 de mayo de 2023 a 7 de septiembre de 2024**, con N° de Expediente 1404-4422-2019/18.

Las actuaciones de la presente memoria se incluyen dentro de la actuación AGMA02 **“Descontaminación y rehabilitación de los espacios contaminados por los residuos del lindano en Aragón”** del Objetivo Político 2 del Programa FEDER Aragón 2021-2027.

En este informe se detallan y analizan los trabajos realizados entre el día 1 de enero y 31 de diciembre de 2023, se interpretan los datos obtenidos y se describen las principales conclusiones extraídas.

A continuación, se resumen las distintas actuaciones llevadas a cabo en el periodo de referencia:

Actuaciones de seguimiento y control

- Recopilación de datos meteorológicos de la estación instalada por el Gobierno de Aragón en el emplazamiento.
- Campañas semanales de medición de niveles de agua y fase libre densa no acuosa (en adelante, DNAPL) mediante sonda hidronivel.
- Descarga y compensación de datos de los medidores de presión en continuo (en adelante, *divers*) y sensores de nivel en continuo (LORA).
- Extracción de agua subterránea y DNAPL en sondeos conectados a la red de bombeo.
- Control de caudales en las estaciones de aforo de la CHE situadas en el Barranco de Bailín y río Gállego a la altura de la descarga de la capa M.
- Muestreo de control mensual en los sondeos P126, P140 y P142 de la Zona de Descarga y los sondeos P222, P129 y P171 en distintas zonas del emplazamiento.
- Aforado y muestreo del sistema de drenaje de la Zona 0.
- Campañas semestrales de muestreo de la calidad química en sondeos seleccionados por todo el emplazamiento.
- Campañas semestrales de medición de conductividad y temperatura en todos los piezómetros del emplazamiento.
- Campañas de perforación de sondeos en vaso desmantelado, Zona de Barrera y Zona 0.
- Campaña de muestreadores pasivos de flujo (PFM).

Otros trabajos

- Actuaciones de mantenimiento preventivo programadas dentro del calendario anual.
- Actuaciones de mantenimiento correctivo y mejora de las instalaciones.
- Desarrollo de sondeos.
- Obra civil.
- Construcción de balsa de infiltración y pruebas asociadas.
- Ensayo de trazadores desde los sondeos de la balsa de infiltración.

Trabajos relacionados con la biorremediación

- Ensayo piloto de bioestimulación en Zona de Barrera.
- Ensayo de bioestimulación en el incubador orbital.
- Ensayo de biorreactor anaeróbico en campo.

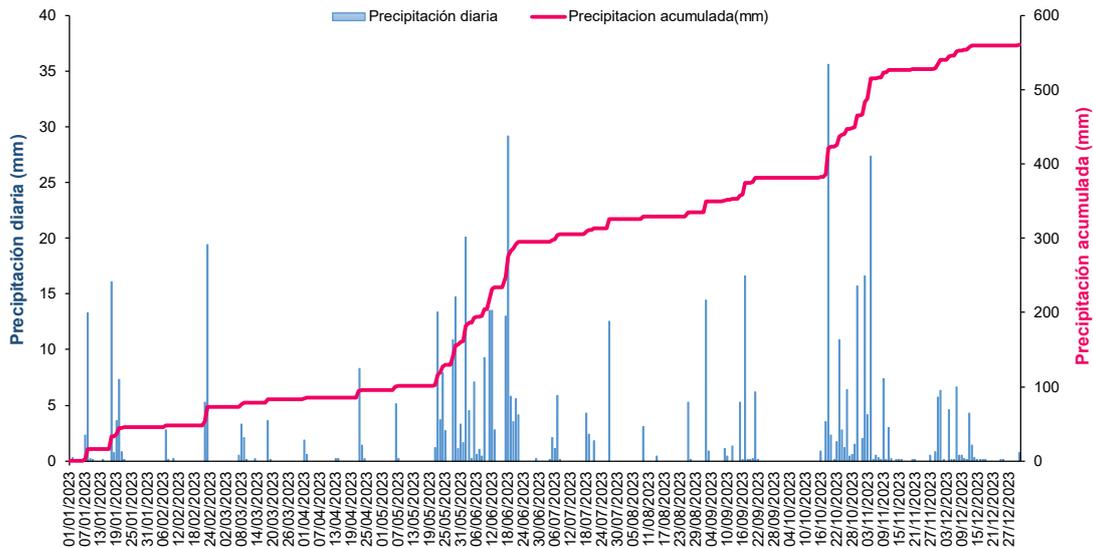
2. Actuaciones de seguimiento y control

2.1 Registro de precipitaciones

En el emplazamiento se ubica una estación meteorológica que toma datos diarios de precipitación, temperatura, humedad, radiación, etc. Estos registros se encuentran disponibles para su visualización en la aplicación web <https://webtrans.geonica.com/index.php?idioma=spanish>, accesible mediante un código de usuario y una contraseña facilitados por la Dirección Facultativa¹.

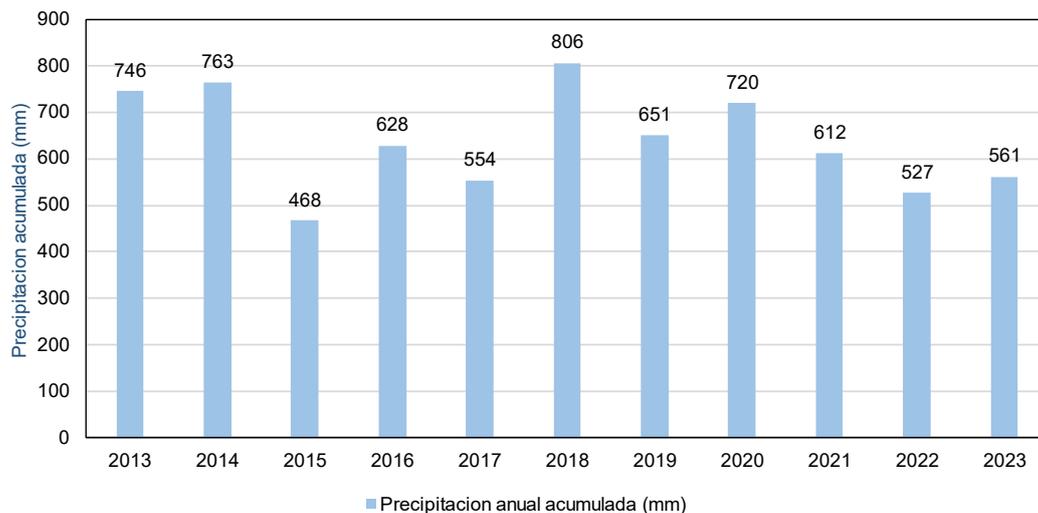
En la siguiente gráfica se presenta la evolución de la precipitación diaria y la precipitación acumulada durante el año 2023.

Gráfica 1. Evolución de la precipitación (1 enero-31 diciembre 2023)



Este año 2023, se ha caracterizado por un bajo régimen de precipitaciones, como se puede observar en la gráfica inferior, donde se compara la precipitación acumulada en los últimos 10 años. Tal y como se muestra en la gráfica, la precipitación acumulada este año ha sido de 561 mm. Esta cifra se encuentra significativamente por debajo de la media registrada en los últimos 10 años, la cual se sitúa en unos 640 mm.

Gráfica 2. Evolución de la precipitación anual (2013 a 2023)



¹ Los datos tomados por la estación meteorológica vienen reflejados en horario solar, habiendo por tanto un desfase con la hora oficial que depende de la estación del año (2 horas en horario de verano y 1 hora en horario de invierno).

2.2 Campañas de medición de niveles de agua subterránea y espesores aparentes de DNAPL

Las campañas de medición de niveles de agua subterránea y DNAPL están establecidas de acuerdo con la representatividad de los datos hidrogeológicos, de manera que los sondeos que presentan una mayor rapidez de respuesta tanto a la recarga como a las variaciones en la calidad química del agua subterránea, así como aquellos que suelen presentar espesores aparentes de DNAPL, se miden con una mayor frecuencia.

Las mediciones se llevan a cabo generalmente mediante sonda hidronivel. No obstante, en aquellas zonas donde se ha comprobado que se obtiene una información relevante del modelo hidrogeológico, los niveles de agua en los sondeos más representativos se monitorizan en continuo mediante medidores de presión (*divers*) o sensores de nivel en continuo (LORA).

En las siguientes tablas se muestra la distribución de los sondeos que actualmente conforman la red de control del emplazamiento, agrupados según la periodicidad de las mediciones y del método de registro (sonda hidronivel, *diver* o LORA).

Tabla 1. Sondeos de control diario (*diver* o LORA)

Sondeo	Capa	Prof. instalación (m)	Nº serie	Registro
P218	M	30	2082160	<i>Diver</i>
P186	M	35	R21122134	LORA
P179N	M	25	2082156	<i>Diver</i>
P180	M	25	2082167	<i>Diver</i>
P224	M	30	SLRNS220132	LORA
P225	M	30	SLRNS210131	LORA
P226	M	35	1078629	<i>Diver</i>
P227	M	35	1074820	<i>Diver</i>
P174	M	33	19042001	LORA
P27	M	22	2071168	<i>Diver</i>
P54	M	30	2071167	<i>Diver</i>
P79	M	35	2082147	<i>Diver</i>
P127	M	45	2066702	<i>Diver</i>
P129	M	45	2071162	<i>Diver</i>
P130	M	33	19042002	LORA
O2	M	33	SLRNV210143	LORA
I1S	M	33	24E124454C100235	LORA
P143	M	50	2066712	<i>Diver</i>
P98	M	34	2082166	<i>Diver</i>
P99	M	50	2066720	<i>Diver</i>
P146	M	45	R21122133	LORA
P223	M	35	R21122131	LORA
P222	M	35	2125321	LORA
P111	O	30	2082164	<i>Diver</i>
P131	O	35	2082170	<i>Diver</i>
P144	M	50	2071152	<i>Diver</i>
P26	M	20	2082162	<i>Diver</i>
P102	M	30	2066714	<i>Diver</i>
P140	M	33	19042003	LORA

Tabla 2. Sondeos de control semanal (sonda hidronivel)

Sondeos con DNAPL				Sondeos sin DNAPL	
Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa
P49	M	P81	M	P187	Otras
P52	M	P171	M		
P55	M	P172	M		
P56	M	P173	I		
P72	K	P175	I		
P93	I				

Tabla 3. Sondeos de control trimestral (sonda hidronivel)

Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa
P57	M	P162	Otras	I3	Otras
P71	K	P177	M	I4	Otras
P188	Otras	P183	I	O1	M
P86	O	B1	Otras	O3	Otras
P185	I	I1	M	O4	Otras
P107	M	I2	M	P84	M
P184	I	P189	Otras		

Tabla 4. Sondeos de control anual (sonda hidronivel)

Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa	Sondeo	Capa
P48	M	P85	IU	P111	O	P149	K	P168	Otras	P209	Otras
P50	L	P87	M	P112	O	P15	I	P169	Otras	P210	Otras
P58	M	P90	U	P113	O	P150	K	P170	Otras	P211	Otras
P59	I	P91	U	P118	O	P151	K	P176	I	P212	Otras
P66	K	P92	O	P120	IU	P152	Otras	P178	M	P213	Otras
P67	I	P94	O	P121	OU	P153	Otras	P179	M	P214	Otras
P70	OU	P96	I	P122	OU	P154	I	P179S	M	P215	Otras
P73	OU	P97	U	P125	AG	P160	Otras	P180S	M	P216	Otras
P74	OU	P103	M	P126	M	P161	K	P181	OU	P217	Otras
P77	IU	P104	M	P132	O	P163	Otras	P182	OU	P219	Otras
P78	K	P106	M	P136	O	P165	M	P206	Otras	P220	M
P80	IU	P109	U	P139	I	P166	K	P207	Otras	P221	M
P82	L	P110	OU	P141	M	P167	Otras	P208	Otras		

A continuación, en los siguientes subapartados se analiza la evolución mensual de los niveles de agua subterránea y los espesores aparentes de DNAPL. Cabe destacar que el análisis de los niveles de agua se efectúa a partir de los sondeos más representativos de las capas principales, o de aquellos en los cuales se ha observado un comportamiento diferente al habitual (variaciones bruscas de nivel no relacionadas con eventos de precipitación, cambios entre las cotas máximas o mínimas, etc.).

2.2.1 Evolución de niveles de agua subterránea en la capa M

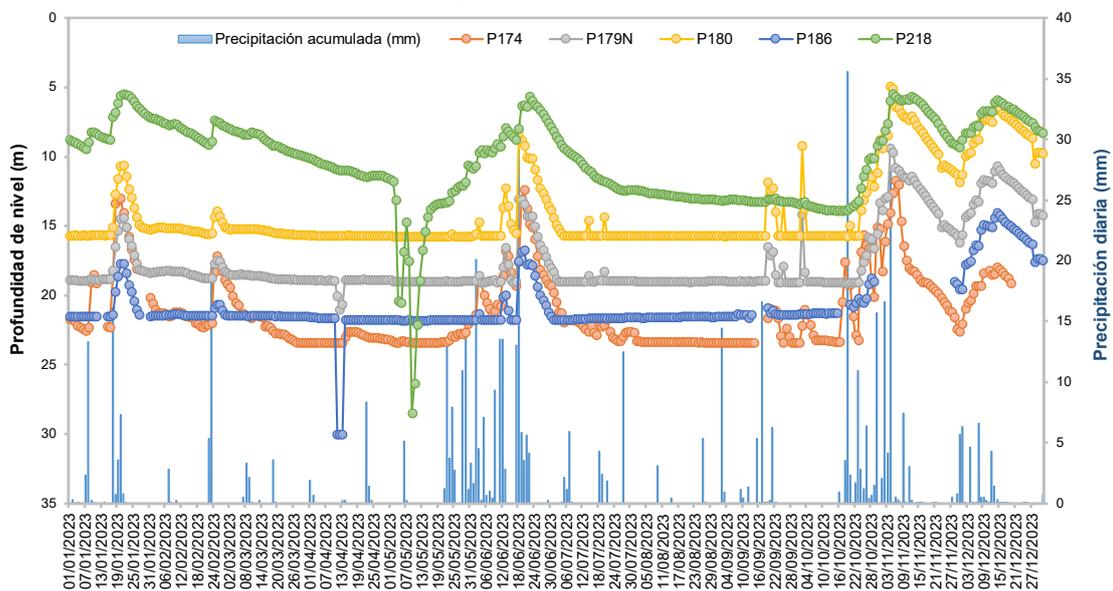
La capa M es la única capa que presenta una continuidad litológica que permite conectar el flujo de agua subterránea a través de la red de fracturación, desde el vaso del antiguo vertedero de HCH hasta el río Gállego. Esta capa es la más relevante desde el punto de vista del transporte de masa contaminante, y por ello se estudia y controla con más detalle.

El grado de conexión hidráulica de las distintas fracturas y la profundidad a la que se encuentra el nivel de agua condicionan la dirección del flujo subterráneo en el emplazamiento. En la zona de foco, donde el nivel de agua se encuentra más somero, además del flujo longitudinal que se produce a través de las fracturas de las capas de arenisca, existe una componente de flujo transversal. Esto es debido a que, independientemente de la litología, hay una mayor densidad de fracturación en superficie. Por otro lado, la densidad de fracturación, que disminuye en profundidad, es mucho menor en las capas de limolita que en las capas de arenisca.

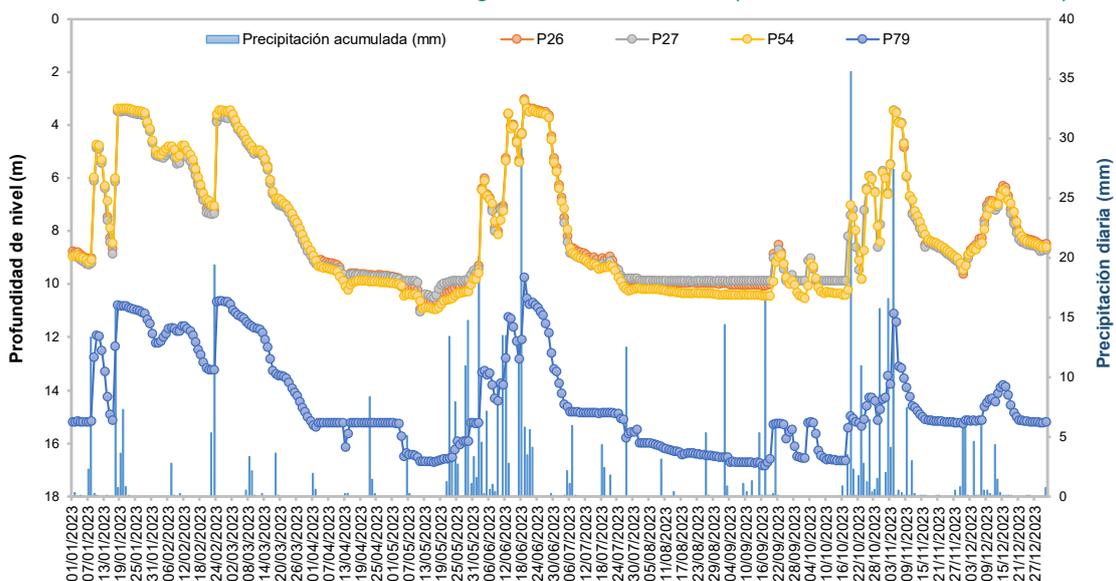
A partir del Barranco 3, el nivel de agua en la capa M se sitúa entre los 20-30 m de profundidad, por lo que el flujo de agua circula principalmente por las fracturas más profundas de la capa en dirección al río, sin que apenas se produzca flujo transversal.

En las gráficas a continuación se representa la evolución de los niveles de agua durante el año 2023 para los sondeos de la capa M equipados con *diver* o LORA, agrupados según la zona del emplazamiento en la que se ubican.

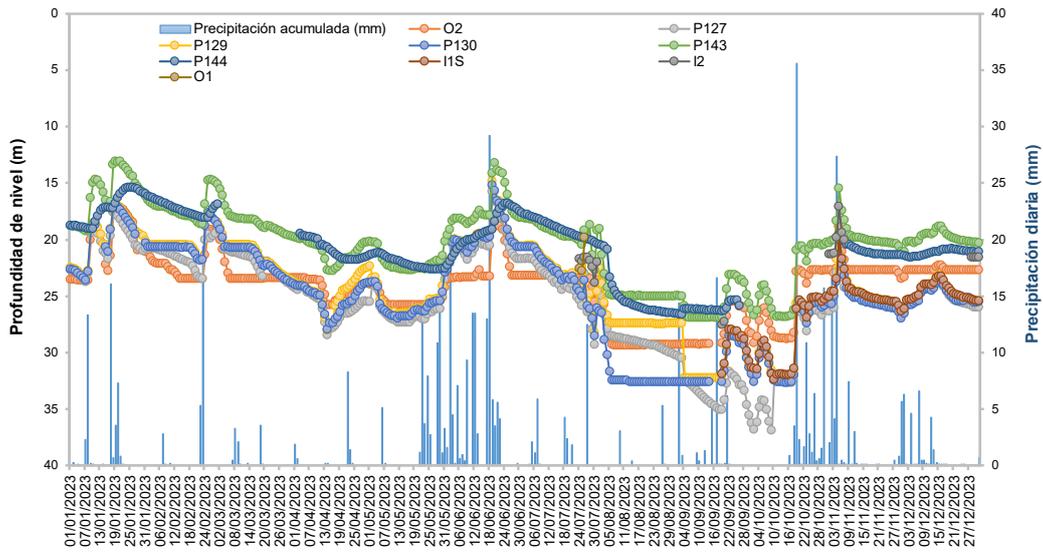
Gráfica 3. Evolución de niveles de agua en el Vaso / Zona 0 (1 enero-31 diciembre 2023)



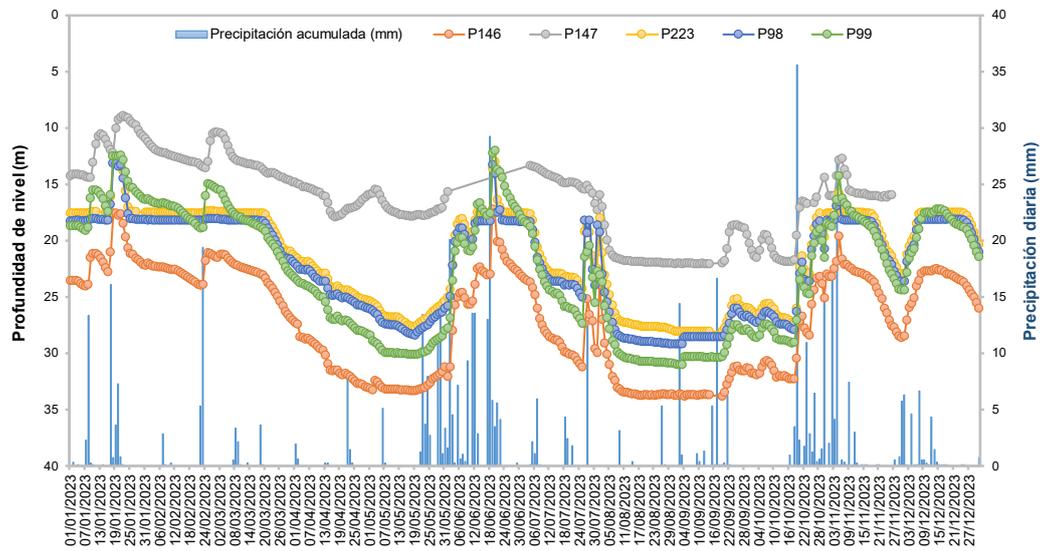
Gráfica 4. Evolución de niveles de agua en el Barranco 3 (1 enero-31 diciembre 2023)



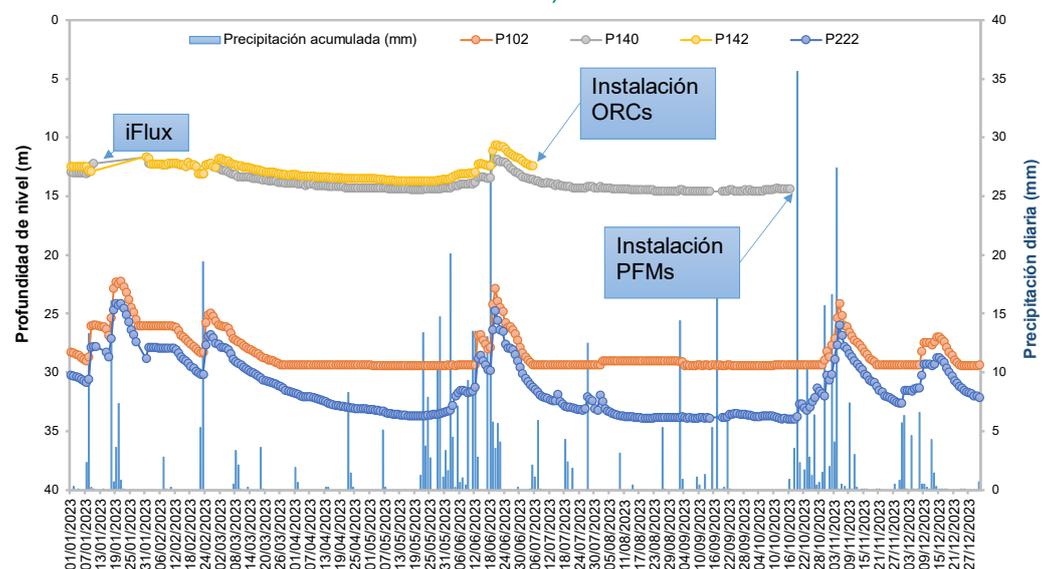
Gráfica 5. Evolución de niveles de agua en la Zona de Barrera (1 enero-31 diciembre 2023)



Gráfica 6. Evolución de niveles de agua en el Barranco 4 (1 enero-31 diciembre 2023)



Gráfica 7. Evolución niveles agua aguas abajo Barranco 4/Zona de Descarga (1 enero-31 diciembre 2023)



Este año, se han observado tres episodios de aguas altas en el emplazamiento, de acuerdo con las épocas en las que se han producido las precipitaciones más cuantiosas y prolongadas.

El primer episodio coincidió con el comienzo de año, y aunque no hubo lluvias tan intensas, se produjeron nevadas, lo cual provoca una subida de los niveles y un mantenimiento de los mismos más notable, debido a que, en el proceso del deshielo, la infiltración es más lenta y constante. Por este motivo, los niveles estuvieron unos dos meses en aguas altas.

Con las precipitaciones de mayo, los niveles volvieron a las aguas altas durante aproximadamente un mes, y el tercer episodio de aguas altas se produjo a finales de octubre, durante un periodo de tiempo más breve.

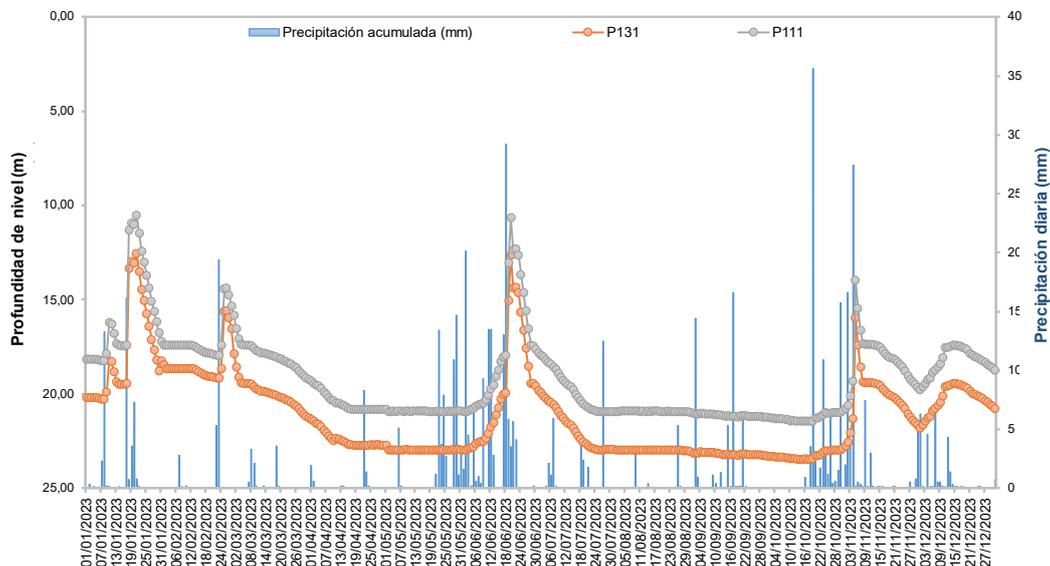
Los dos periodos de aguas bajas se produjeron entre abril y mayo, y entre julio y octubre. En este último periodo, las cotas alcanzaron los valores mínimos. No obstante, la inyección de volúmenes de agua durante la campaña de perforación de sondeos de septiembre provocó ascensos puntuales en los sondeos de control desde el vaso del vertedero al Barranco 4.

2.2.2 Evolución de los niveles de agua subterránea en otras capas

Los sondeos de monitorización en continuo en capas distintas a la M son P111 y P131, ubicados en la Zona de Barrera y pertenecientes a la capa O, una capa de arenisca significativa que se extiende desde el vaso paralela al sur de la capa M hasta cerca del Barranco 4.

En la gráfica a continuación se representa la evolución de los niveles de agua durante 2023 para los sondeos con *díver* de la capa O². Se incluye en las gráficas la precipitación diaria y los eventos que hayan podido influir en la evolución de los niveles.

Gráfica 8. Evolución niveles de agua sondeos capa O Zona de Barrera (1 enero-31 diciembre 2023)



La reacción de estos dos sondeos es muy similar a la que se produce en los sondeos de la capa M en esta zona, con periodos de aguas altas y bajas coincidentes, sin que se haya detectado ningún evento que haya alterado el comportamiento de los niveles.

² Los *dívers* se encuentran programados de modo que tomen una lectura de presión cada hora. No obstante, para facilitar la presentación y visualización de los datos, se muestra únicamente una medida diaria, correspondiente al dato obtenido en la lectura de las 14:00 h.

2.2.3 Evolución de espesores aparentes de DNAPL

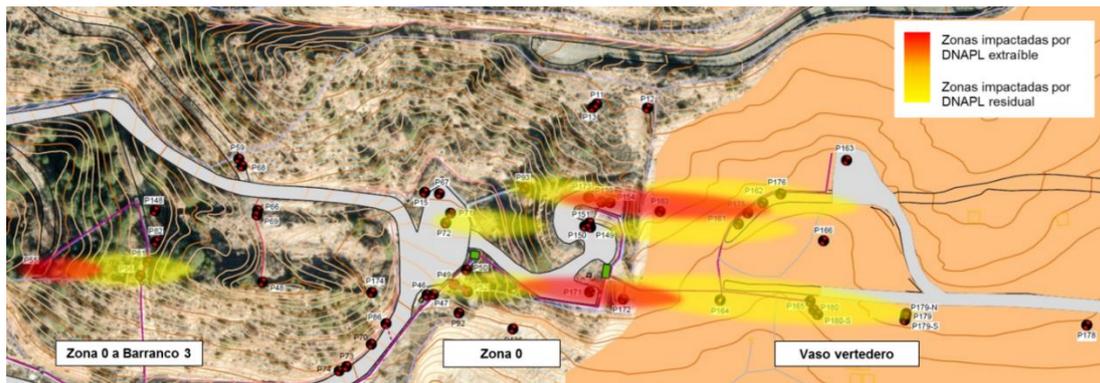
Las tareas de extracción de DNAPL constituyen una de las principales actuaciones que se llevan a cabo en el seguimiento hidrogeológico del emplazamiento, y que tienen el objetivo de retirar la masa contaminante de DNAPL que se acumula en el fondo de los sondeos y, con ello, reducir el principal foco de afección que alimenta la pluma de fase disuelta.

Históricamente, los residuos líquidos asociados a los procesos de cloración fallidos en la fabricación del lindano se vertieron en el vertedero de Bailín hasta el cierre de la fábrica de INQUINOSA. Esta fase líquida no acuosa y densa formó un DNAPL que percoló por las fracturas del suelo del vertedero, movilizándose a través de la red de fracturación que le ofrecía menor resistencia, preferentemente por las capas de arenisca, que presentan una mayor densidad y conexión de fracturas.

De este modo, la distribución del DNAPL llegó a abarcar una extensión desde el vaso del vertedero hasta el Barranco 3. En algunos sondeos perforados en las capas de arenisca M, K, I y O, se acumulaba DNAPL con una frecuencia que permitía obtener unas tasas de extracción en los sondeos del orden de los 5 a 7 l/día.

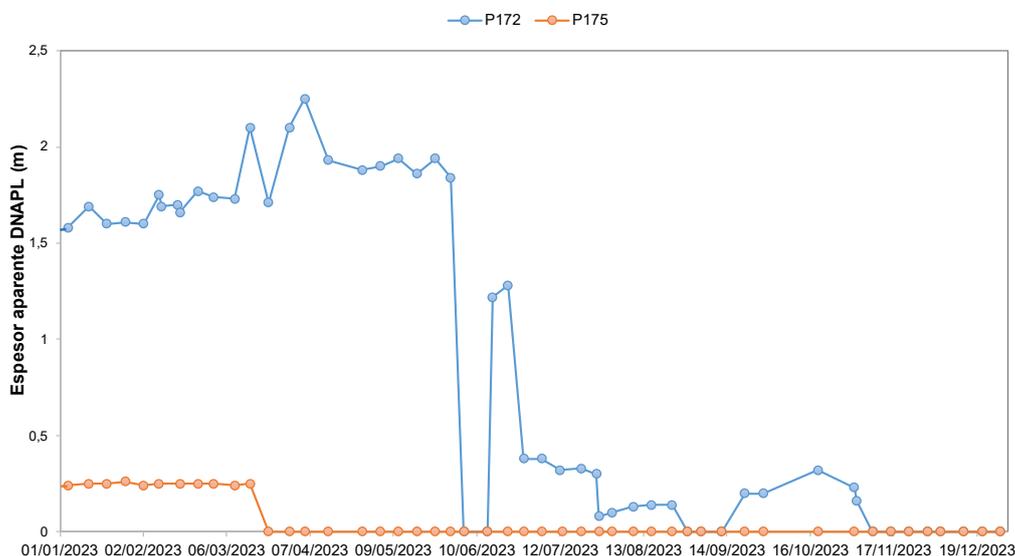
Sin embargo, tras más de una década de operaciones de bombeo intensivos, en la que se ha ido ampliando y optimizando la red de extracción, la tasa de acumulación de DNAPL en los sondeos ha ido disminuyendo paulatinamente. De este modo, actualmente el DNAPL se encuentra prácticamente en fase residual en las fracturas, y las tasas de extracción han disminuido considerablemente en los pocos sondeos que actualmente son productivos.

Figura 1. Áreas impactadas por DNAPL en la actualidad

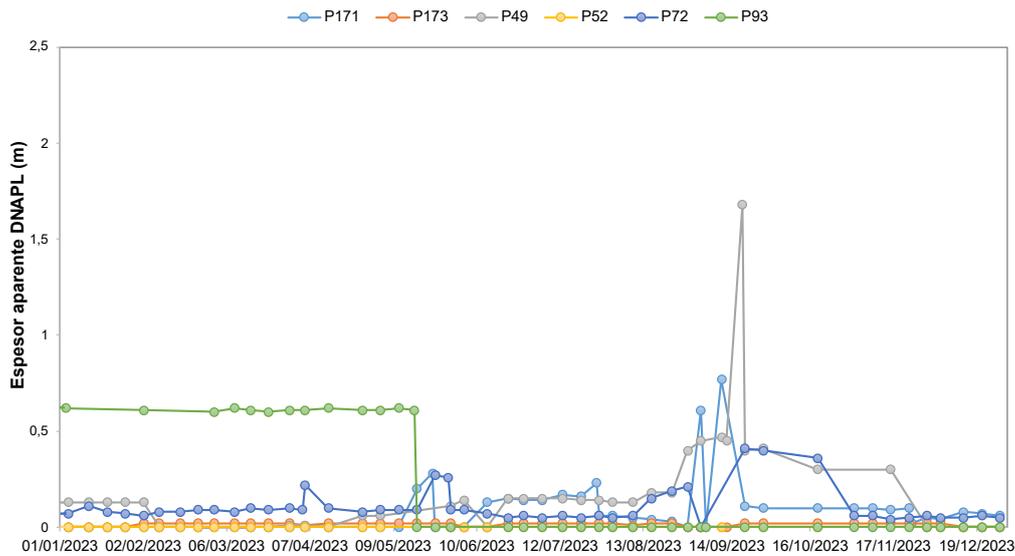


En las siguientes gráficas se recoge la evolución de los espesores aparentes de DNAPL en 2023 en los sondeos que actualmente presentan DNAPL. Se han agrupado según su ubicación en las distintas zonas del emplazamiento en las que se encuentran.

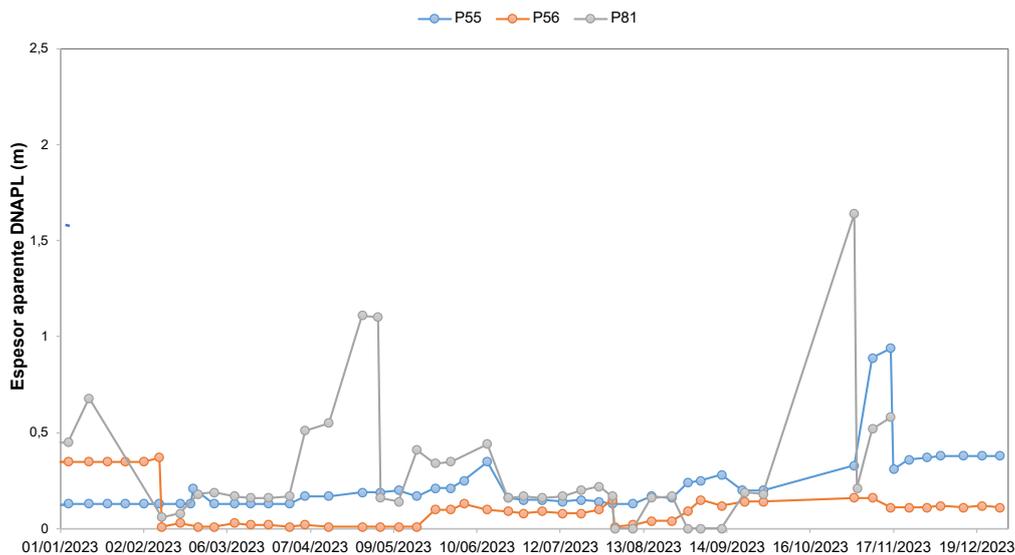
Gráfica 9. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Vaso (1 enero-31 diciembre 2023)



Gráfica 10. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Zona 0 (1 enero-31 diciembre 2023)



Gráfica 11. Evolución espesores aparentes DNAPL sondeos Zona 0 – Barranco 3 (1 enero-31 diciembre 2023)



En función de la evolución de los espesores aparentes de DNAPL, se han podido apreciar los siguientes comportamientos.

- En la zona del **Vaso**, los sondeos presentaban fase libre en la primera mitad del año (un espesor de unos 25 cm en P175, de la capa I, y entre 1,5 y 2 m en P172, de la capa M), pero tras los bombeos realizados en ambos puntos, los espesores han ido disminuyendo hasta dejar de acumularse.
- En los sondeos de la **Zona 0**, los únicos sondeos con variaciones de DNAPL a lo largo del año ha sido P171 y P49 de la capa M, y P72, de la capa K. La perforación de sondeos en el vaso para la construcción de la balsa de infiltración provocó un reajuste de presiones en las fracturas que pudo favorecer la movilización del DNAPL al interior de dichos sondeos. No obstante, tras los bombeos, los espesores acumulados se encontraban por debajo de los 15 cm en todos los casos.
- En la **Zona 0 a Barranco 3**, los espesores han sido los más variables, con una mayor fluctuación en P81 y P55, que experimentaron algún repunte puntual, especialmente tras la campaña de sondeos de septiembre. Sin embargo, a finales de año se encontraban estables.

2.3 Extracción de DNAPL y agua contaminada

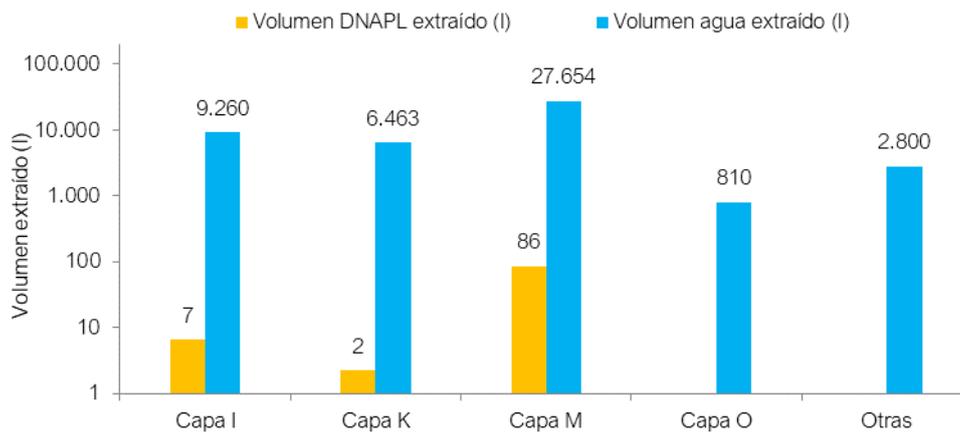
Las labores de bombeo se planifican en función de la evolución de los niveles de agua y DNAPL, así como de las concentraciones que presentan los sondeos. Para ello, se tiene en cuenta el rendimiento de cada sondeo de acuerdo con su tasa de recuperación, condicionada principalmente por la mayor o menor conexión hidráulica de sus fracturas y la saturación en DNAPL de éstas.

No obstante, actualmente muy pocos sondeos son capaces de acumular suficiente espesor aparente de DNAPL como para ser extraído mediante bombeo, y en los que todavía se acumula, lo hace muy lentamente, lo que condiciona que la frecuencia de los bombeos se ajuste al periodo de acumulación de cada sondeo.

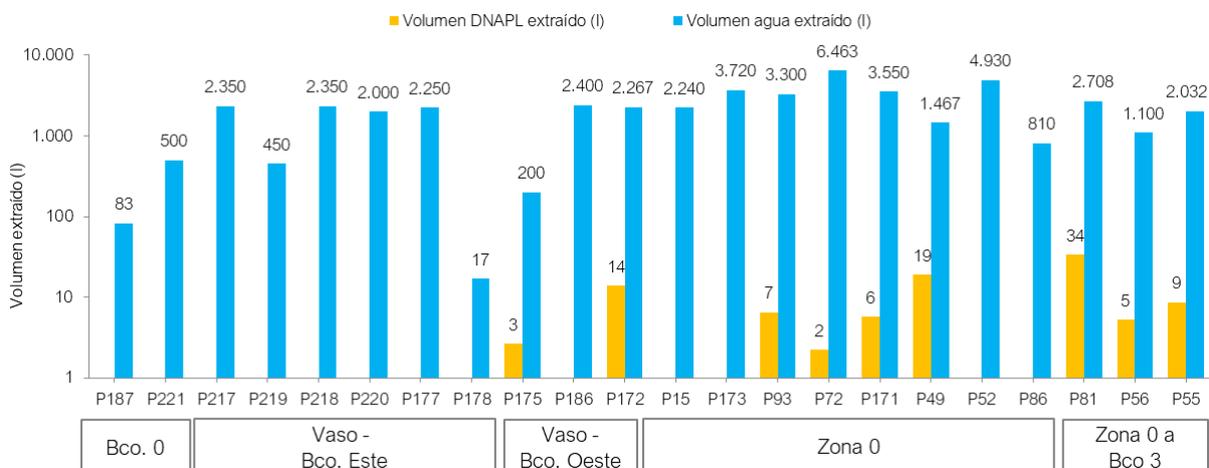
En la siguiente gráfica se resumen los volúmenes totales de DNAPL y agua contaminada extraídos por capa en el año 2023, y en la gráfica a continuación, se recogen estos valores por sondeo en función de la zona en la que se sitúan.

Tal y como se observa, los sondeos de la capa M son los más productivos, tanto en DNAPL como en extracción de agua contaminada, siendo el sondeo P81 (capa M, Zona 0 a Barranco 3) del que más DNAPL se ha extraído en 2023, seguido de P49 (capa M, Zona 0) y P172 (capa M, vaso).

Gráfica 12. Volúmenes de agua y DNAPL extraídos (l) por capa en 2023



Gráfica 13. Volúmenes de agua y DNAPL extraídos (l) por sondeo en 2023



Bombeos Barranco 3

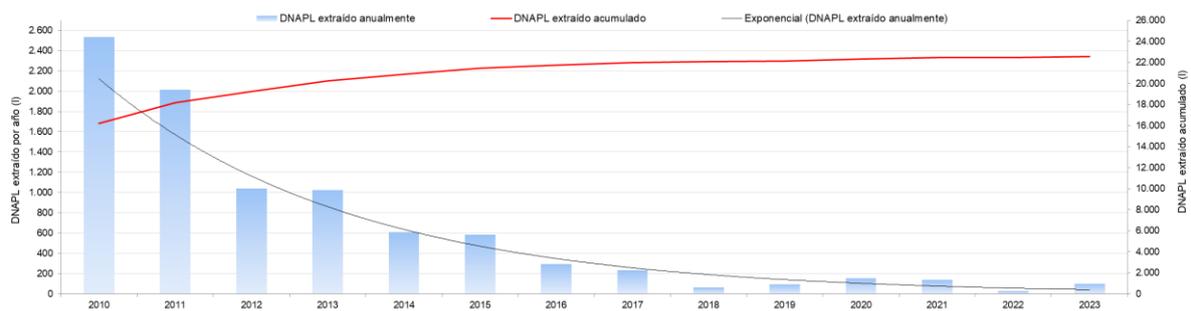
En el barranco 3, la bomba automatizada que capta agua procedente de la surgencia de la capa M, no se ha activado en ninguna ocasión durante el año 2023.

2.3.1 Evolución rendimientos de extracción

Desde enero a diciembre de 2023 se ha recuperado un total de casi 98 m³ de DNAPL. Desde el año 2006, cuando comenzaron las labores de extracción en el emplazamiento, se llevan extraídos 22,57 m³ de DNAPL. En la gráfica a continuación se recogen los volúmenes de DNAPL extraído desde 2010, así como la tendencia de evolución del rendimiento de extracción.

Este año, se ha conseguido aumentar ligeramente las cantidades extraídas de DNAPL respecto al mes anterior, principalmente debido a que algunos sondeos han aumentado sus tasas de recuperación; como P49 y P81, por una cierta movilización del DNAPL residual existente en fracturas en estas zonas, en parte quizá promovido por algunas actuaciones realizadas en la zona de foco, como perforación de sondeos, que han podido liberar presiones en las fracturas en profundidad y facilitar esta movilización hacia el interior de los sondeos.

Gráfica 14. Evolución del volumen de DNAPL extraído desde 2010



2.3.2 Equivalencia en masa de los volúmenes extraídos

A partir de las labores de bombeo de DNAPL y agua subterránea, se extrae masa contaminante, siendo una actuación fundamental para el control de la pluma en el emplazamiento.

Según los volúmenes recuperados, se ha calculado la masa total de benceno, monoclorobenceno y HCH total extraída durante 2023 en función de las siguientes fórmulas:

$$M_{\text{fase disuelta}} = C * V \quad (1)$$

$$M_{\text{DNAPL}} = X * D_{\text{DNAPL}} * V_{\text{DNAPL}} \quad (2)$$

donde:

M_{fase disuelta} es la masa extraída en fase disuelta de cada uno de los contaminantes de interés (µg),

C es la concentración de cada contaminante en la fase disuelta (µg/l),

V es el volumen total de agua extraída (l);

M_{DNAPL} es la masa extraída en la fase densa de cada uno de los contaminantes de interés (kg),

X es la proporción del contaminante dentro del DNAPL (%),

D es la densidad del DNAPL (kg/l),

V_{DNAPL} es el volumen total de DNAPL extraído (l)

Masa extraída en fase disuelta

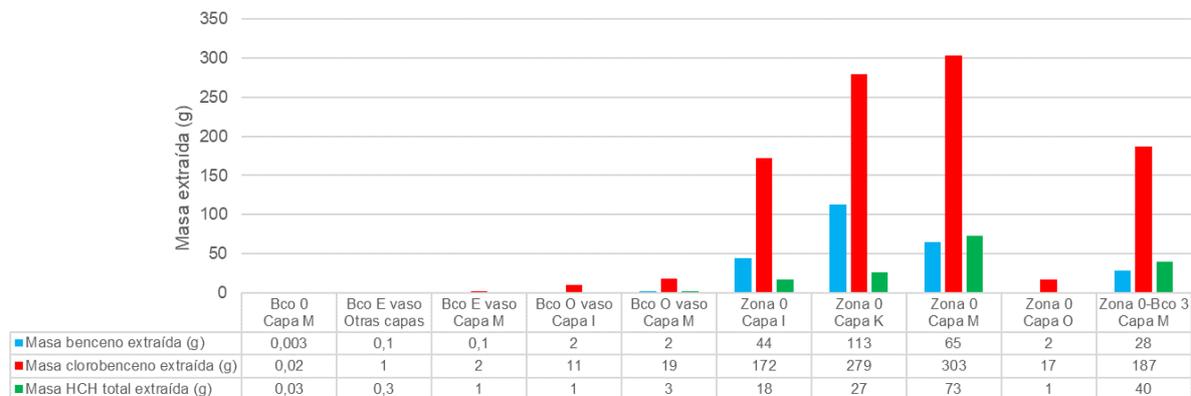
En función de la concentración promedio de los compuestos principales analizados en las campañas de muestreo de este año en función de la zona, se ha calculado la masa extraída en la fase disuelta según la anterior fórmula (2). En la tabla siguiente se recopilan los datos empleados para el cálculo.

Tabla 5. Volúmenes de agua extraídos y concentraciones promedio por zona y capa en 2023

Sondeo	Zona	Capa	Volumen agua extraído (l)	Concentración promedio benceno (µg/l)	Concentración promedio clorobenceno (µg/l)	Concentración promedio HCH total (µg/l)
P187	Barranco 0	M	83	5	35	60
P221	Barranco 0	M	500	5	35	60
P217	Vaso Bco. Este	Otras	2.350	25	365	116
P219	Vaso Bco. Este	Otras	450	25	365	116
P218	Vaso Bco. Este	M	2.350	14	364	193
P220	Vaso Bco. Este	M	2.000	14	364	193
P177	Vaso Bco. Este	M	2.250	14	364	193
P178	Vaso Bco. Este	M	17	14	364	193
P175	Vaso Bco. Oeste	I	200	9.528	52.932	7.218
P186	Vaso Bco. Oeste	M	2.400	498	4.040	651
P172	Vaso Bco. Oeste	M	2.267	498	4.040	651
P15	Zona 0	I	2.240	4.772	18.586	1.937
P173	Zona 0	I	3.720	4.772	18.586	1.937
P93	Zona 0	I	3.300	4.772	18.586	1.937
P72	Zona 0	K	6.463	17.548	43.125	4.140
P171	Zona 0	M	3.550	6.526	30.425	7.341
P49	Zona 0	M	1.467	6.526	30.425	7.341
P52	Zona 0	M	4.930	6.526	30.425	7.341
P86	Zona 0	O	810	1.959	21.365	1.478
P81	Zona 0 a Barranco 3	M	2.708	4.842	32.000	6.795
P56	Zona 0 a Barranco 3	M	1.100	4.842	32.000	6.795
P55	Zona 0 a Barranco 3	M	2.032	4.842	32.000	6.795

La masa total extraída por capa se resume en la siguiente gráfica. En total, se han extraído 257 g de benceno, 991 de monoclorobenceno y 165 g de HCH total a partir de los bombeos de agua subterránea.

Gráfica 15. Masa extraída contaminantes principales por capa y zona (g) en bombeos agua subterránea



Masa extraída en DNAPL

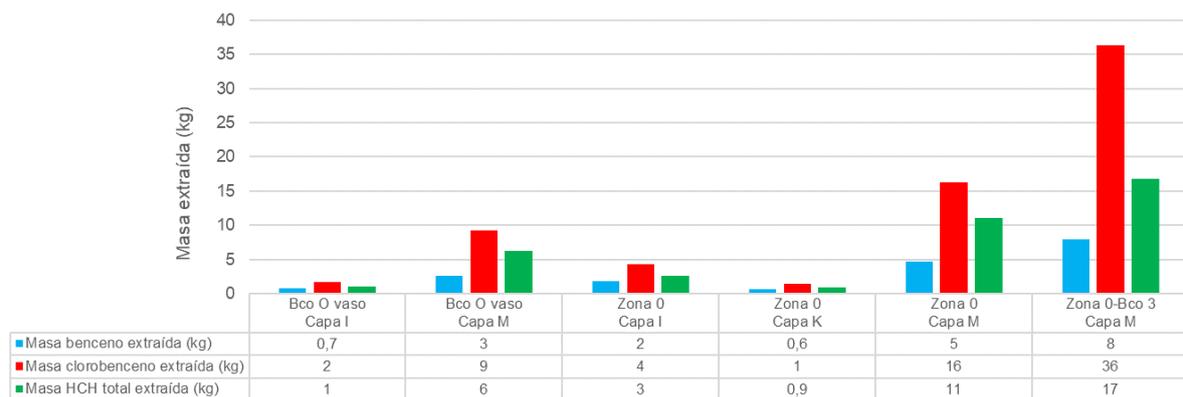
Según los análisis de la composición del DNAPL efectuados en 2017, se determinó un valor promedio de densidad de 1,5 g/cm³ (1,5 kg/l). A partir de ese valor, y de los porcentajes de cada uno de los compuestos en la fase densa, se ha calculado la masa extraída a partir de los bombeos de DNAPL con la fórmula anterior (3). En la tabla siguiente se recogen los valores empleados para el cálculo.

Tabla 6. Volúmenes de DNAPL extraídos y proporción promedio contaminantes en las muestras de DNAPL analizadas en 2017

Sondeo	Zona	Capa	Volumen DNAPL extraído (l)	Proporción benceno (%)	Proporción clorobenceno (%)	Proporción HCH Total (%)
P175	Vaso Bco. Oeste	I	2,64	18%	44%	27%
P172	Vaso Bco. Oeste	M	13,93	13%	44%	30%
P93	Zona 0	I	6,55	18%	44%	27%
P72	Zona 0	K	2,24	18%	44%	27%
P171	Zona 0	M	5,71	13%	44%	30%
P49	Zona 0	M	18,9	13%	44%	30%
P81	Zona 0 a Barranco 3	M	33,9	11%	51%	23%
P56	Zona 0 a Barranco 3	M	5,28	11%	51%	23%
P55	Zona 0 a Barranco 3	M	8,66	11%	51%	23%

La masa total extraída por capa se resume en la siguiente gráfica. En total, se han extraído 18,4 kg de benceno, 69,4 kg de monoclorobenceno y 38,8 kg de HCH total a partir de los bombeos de DNAPL.

Gráfica 16. Masa extraída contaminantes principales por capa y zona (g) en bombeos DNAPL



2.4 Control de caudales

En este apartado se presenta la evolución de los caudales del barranco de Bailín y río Gállego registrados por las estaciones de aforo de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), ubicadas a la salida del barranco (barranco de Bailín) y aguas abajo de la descarga de la capa M (río Gállego).

En la página web de SAIH Ebro (Sistema Automático de Información Hidrológica del Ebro), se dispone de una amplia información acerca del control de caudales de las estaciones. En la página asociada a cada estación (ver tabla a continuación), se presenta una ficha con la ubicación, datos analógicos a tiempo real, datos estadísticos, mapas, fotos, e información sobre caudales de referencia.

Así mismo, se pueden visualizar los gráficos con los niveles, caudales, precipitación y otros parámetros en diferentes escalas temporales, e imprimir y exportar los datos en formato PDF y Excel.

Tabla 7. Estaciones de aforo ubicadas en el entorno del emplazamiento

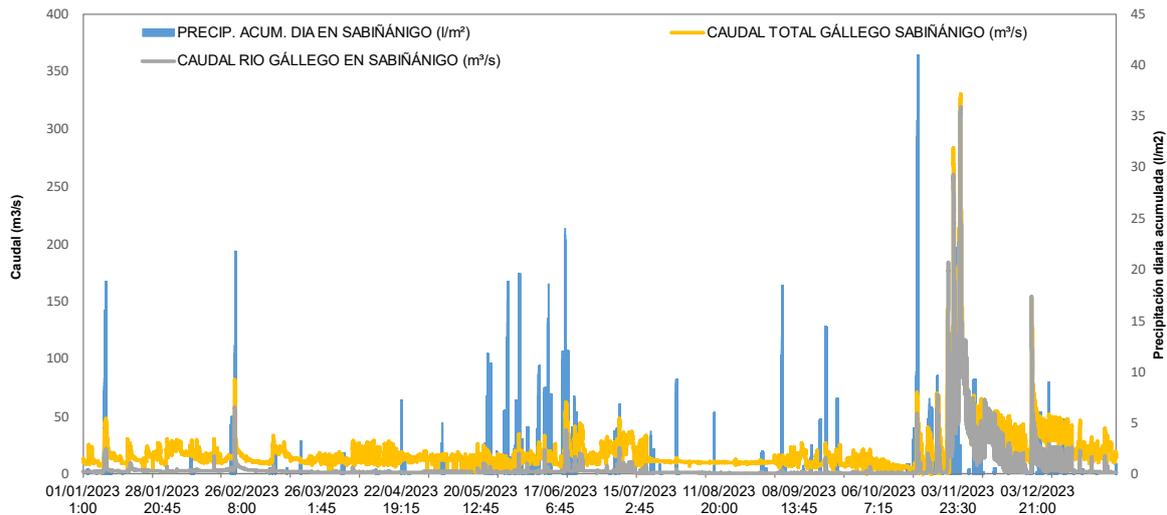
Estación	Control	Enlace web
A312	Salida barranco Bailín	http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/ficha/estacion:A312
A319	Río Gállego Sabiñánigo	http://www.saihebro.com/saihebro/index.php?url=/datos/ficha/estacion:A319

En las siguientes gráficas se muestra la evolución de los caudales registrados desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2023 en las estaciones de aforo enfrentados a la precipitación diaria acumulada.

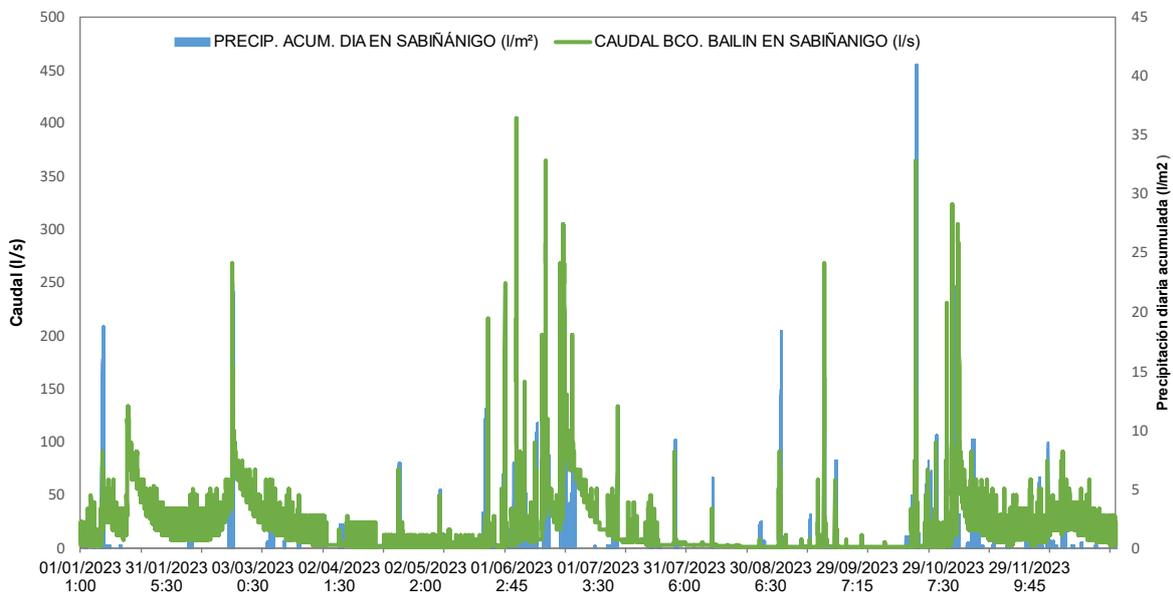
En la **Gráfica 17**, correspondiente a la estación A319 (río Gállego) se muestra la evolución de los caudales puntuales y totales, mientras que en la estación A312 (Barranco Bailín) se muestra únicamente el caudal puntual (**Gráfica 18**). Los caudales en esta estación no reflejan el caudal natural del Gállego en esta zona, sino que está condicionado por la gestión y deriva de caudal al canal hidroeléctrico que se realiza desde el embalse de Sabiñánigo, situado aguas arriba.

Nótese en las gráficas que el eje de ordenadas (caudal) se representa en unidades diferentes para cada estación. De este modo, en la gráfica correspondiente a la estación A319 (río Gállego), el caudal viene dado en m³/s, mientras que en la gráfica de la estación A312 (Barranco Bailín), el caudal viene dado en l/s (3 órdenes de magnitud inferior).

Gráfica 17. Evolución de caudales estación aforo A319 – Río Gállego (1 enero-31 diciembre 2023)



Gráfica 18. Evolución de caudales estación aforo A312 – Barranco Bailín (1 enero-31 diciembre 2023)



Los caudales en el río Gállego registrados están en concordancia con el régimen de precipitaciones acontecido durante 2023, con una mayor respuesta a las lluvias de principios de noviembre, y unos caudales mínimos durante gran parte del periodo estival. En el barranco de Bailín, los caudales generan ascensos puntuales que se producen inmediatamente a la precipitación, pudiendo estar los valores máximos ligeramente sobreestimados.

2.5 Campañas de muestreo semestral

El seguimiento de la calidad química del agua es determinante para la caracterización de la pluma contaminante. Para llevar a cabo este seguimiento, se realizan a lo largo del año campañas de muestreo con distinta periodicidad y número de sondeos. En las campañas semestrales se toman entre 70 y 80 muestras, seleccionando los sondeos más representativos dependiendo de las circunstancias de la propia campaña, o aquellos de los que se pretende obtener alguna información relevante, según la evolución de los niveles, la existencia de nuevos sondeos perforados, ensayos realizados, etc.

El programa de muestreo contempla la toma de muestras a bajo caudal con el objetivo de obtener una muestra lo más representativa posible del agua del acuífero. Para ello, se muestrea con una bomba tipo *bladder* a la profundidad de máxima afección (zona de flujo preferente) y, en caso de no ser posible (diámetro piezómetro reducido, etc.), se utilizan tomamuestras desechables de un solo uso, tipo *bailer* o *hydrasleeve*.

Los parámetros físico-químicos se miden con sonda multiparamétrica previamente calibrada en el momento de la toma de la muestra. Por último, las muestras, recogidas en viales topacio de 250-500 ml, se entregan el mismo día de su extracción al laboratorio Pirenarium de la DGA, en Sabiñánigo, para su análisis.

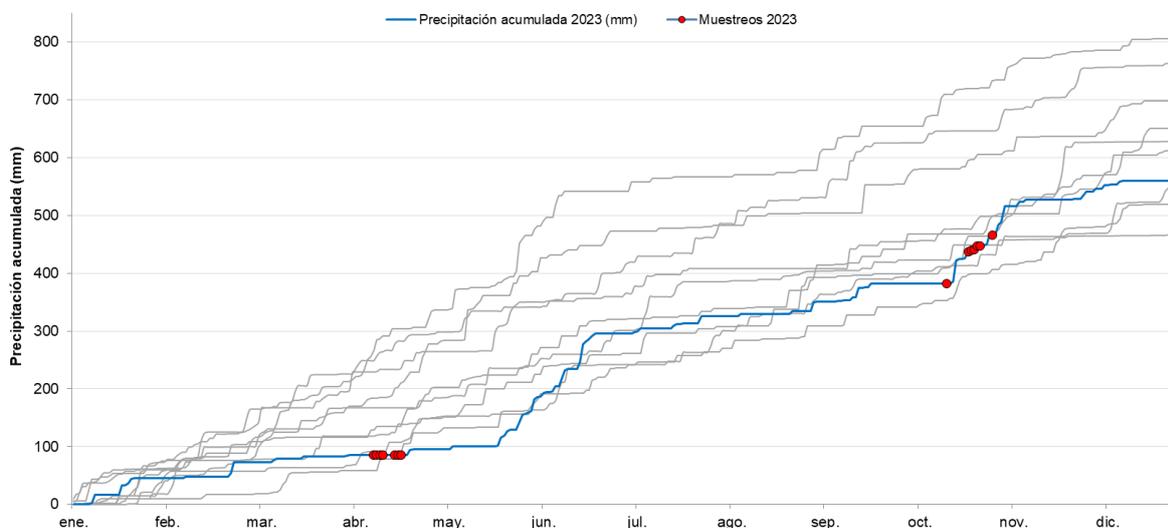
Así mismo, en cada campaña se toman muestras duplicadas (un 5% del total) para su análisis en el laboratorio de referencia externo SGS³, tal y como se viene haciendo en los últimos años a modo de contraste y de control de calidad de los datos.

Con objeto de garantizar la calidad en el estudio de la evolución de la pluma, y dadas las diferentes características de las capas principales que se distinguen en el emplazamiento, la campaña de muestreo se planifica para muestrear los sondeos perforados en cada capa en el menor intervalo temporal, desde los menos afectados hasta los que históricamente han presentado mayor afección.

Este año se han llevado a cabo dos campañas de muestreo, una en abril y otra en octubre. La campaña de muestreo de abril se efectuó en una etapa de ausencia de precipitaciones prolongada, donde el acuífero se encontraba en aguas bajas. En cambio, la campaña de octubre se realizó en una época en la que se produjeron cuantiosas precipitaciones, coincidiendo con la etapa de transición entre aguas bajas y altas, lo que influyó en las concentraciones analizadas.

En la siguiente gráfica se presenta la evolución de la precipitación acumulada durante 2023 (línea azul) comparada con la evolución de la precipitación acumulada de los últimos 10 años (líneas grises), y las fechas en las que se han realizado las campañas de muestreo de 2023.

Gráfica 19. Evolución de precipitación vs eventos de muestreo del año 2023



³ SGS (antiguo Synlab Analytics & Services y, anteriormente, Alcontrol) es un laboratorio que dispone de acreditación ISO/IEC 17025 y que ha sido utilizado como laboratorio de contraste en los últimos 10 años.

En la tabla a continuación, se incluye la relación de sondeos muestreados en ambas campañas junto con la zona y capa a la que pertenecen, la profundidad y el método de muestreo.

Tabla 8. Relación de muestras tomadas en las campañas semestrales de muestreo de 2023

Zona	Capa	Sondeo	Prof. (m)	Método muestreo
Aguas arriba vaso	M	P87	40	Bladder
		P84	15	Bladder
Barranco 0	M	P221	16	Bladder
		P187	7	Bailer
		P177	15	Bladder
	M	P178	15	Hydrasleeve
		P218	25	Bladder
		P220	25	Bladder
Vaso – Barranco Este		P168	10	Hydrasleeve
	Otras	P189	10	Bailer
		P207	15	Bladder
		P212	20	Bladder
		P162	12	Hydrasleeve
	I	P175	22	Hydrasleeve
		P184	15	Bailer
		P183	30	Hydrasleeve
	K	P161	12	Hydrasleeve
		P166	9	Hydrasleeve
		P165	11	Hydrasleeve
Vaso – Barranco Oeste	M	P180	15	Hydrasleeve
		P186	35	Bladder
		P179N	20	Bladder
	OU	P181	4	Bailer
	U	P109	30	Bladder
	Otras	P163	14	Hydrasleeve
		P15	10	Bladder
	I	P173	35	Bladder
		P67	8	Bladder
		P93	20	Bladder
		P149	25	Bladder
	K	P151	55	Bladder
		P71	35	Bladder
		P72	20	Bladder
		P171	35	Bladder
		P172	30	Bladder
Zona 0	M	P174	30	Bladder
		P49	28	Bladder
		P52	50	Bladder
	O	P86	10	Bladder
		P92	10	Bladder
	OU	P70	10	Bladder
		P74	20	Bladder
	U	P90	25	Bladder
Barranco 2	Otras	P160	15	Bladder
		P55	20	Bladder
Zona 0 a Barranco 3	M	P81	35	Bladder
	IU	P80	15	Bladder

Zona	Capa	Sondeo	Prof. (m)	Método muestreo
Barranco 3	OU	P110	15	Bladder
		P26	45	Bladder
	M	P27	20	Bladder
		P54	25	Bladder
		P79	35	Bladder
	O	P94	20	Hydrasleeve
	U	P97	25	Bladder
	Otras	P153	15	Bladder
Zona Barrera		O1	35	Bladder
		O2	35	Bladder
	M	P127	40	Bladder
		P129	40	Bladder
		P143	46	Bladder
		P144	20	Bailer
	O	P111	40	Bladder
		P131	45	Bladder
	OU	P121	25	Bladder
	Barranco 4		P146	29
P147			16	Bailer
M		P223	33	Bladder
		P98	38	Bladder
		P99	45	Bladder
OU		P122	20	Bladder
Otras		P152	15	Bladder
Aguas abajo Barranco 4	M	P102	30	Bladder
		P222	37	Bladder
Zona Descarga	M	P126	2	Bailer
		P140	30	Bladder
		P141	20	Bladder
		P142	45	Bladder

2.5.1 Medición de parámetros físico-químicos

Durante la toma de muestras de agua, se determinan el pH, conductividad, temperatura, potencial redox y oxígeno disuelto de las aguas subterráneas mediante sonda multiparamétrica. Estos parámetros permiten establecer las condiciones físico-químicas del acuífero y evaluar las causas de posibles alteraciones en el entorno que puedan modificarlas ocasionalmente.

Los valores de **conductividad** medidos en ambas campañas se encuentran, en general, dentro del rango habitual de los sondeos, si bien se registran valores más elevados en profundidad en sondeos peor conectados donde la renovación del agua es más escasa y perduran los efectos de las inyecciones de oxidante que se han ido efectuando en los últimos años. Esto repercute igualmente en el **redox**, donde se mantienen los valores positivos en algunos puntos. Por otro lado, en la campaña de muestreo de octubre se midieron valores de conductividad más altos debido a que la campaña de muestreo se solapó con la realización del ensayo de trazadores de la balsa de infiltración, en sondeos de capa M situados desde la Zona 0 al Barranco 3.

En cuanto al **pH**, también suele mantenerse dentro del rango histórico (entre 6 y 8) en todos los sondeos del emplazamiento, con algunas excepciones puntuales en sondeos, generalmente con valores de pH superiores a 10, que se relacionan con la presencia de restos de oxidante y la ejecución de actuaciones en el entorno.

El **oxígeno disuelto** se encuentra oscilando entre los 0 y los 3 mg/l en general; y en particular, suele ser más elevado en sondeos donde se encuentran instalados dispositivos de liberación pasiva de oxígeno (ORCs), como los de Zona de Descarga, o P223, situado aguas abajo del Barranco 4.

En las figuras de las páginas siguientes se representa la distribución en perfil de la capa M del pH, redox y conductividad para las dos campañas de muestreo de 2023. Particularmente dentro de la capa M, se pueden visualizar rápidamente aquellas zonas peor conectadas donde perduran los efectos de la inyección de oxidantes en profundidad, así como la influencia de la inyección de trazadores (sales), que han aumentado la conductividad en sondeos de Zona 0 a Barranco 3 a profundidades más someras.

Figura 2. Distribución de la conductividad, redox y pH en profundidad capa M (abril 2023)

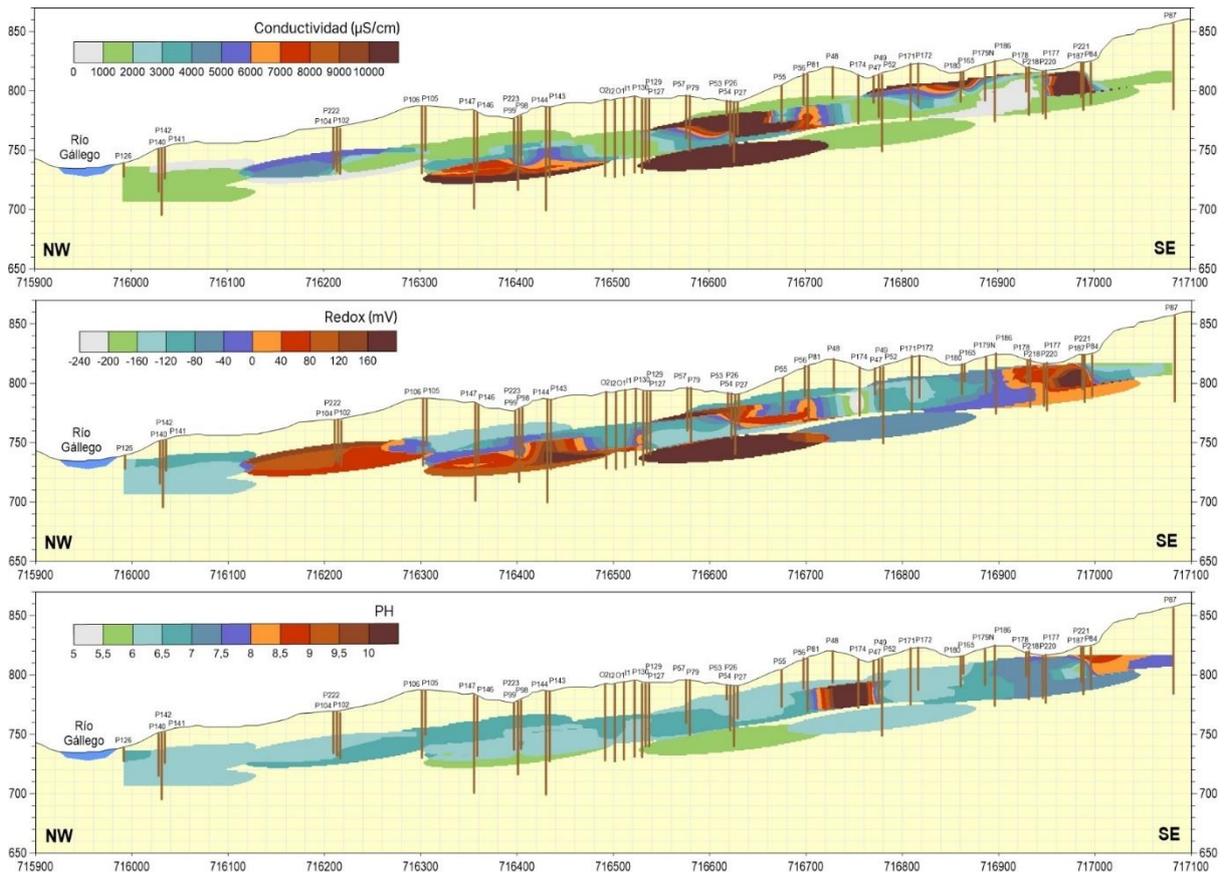
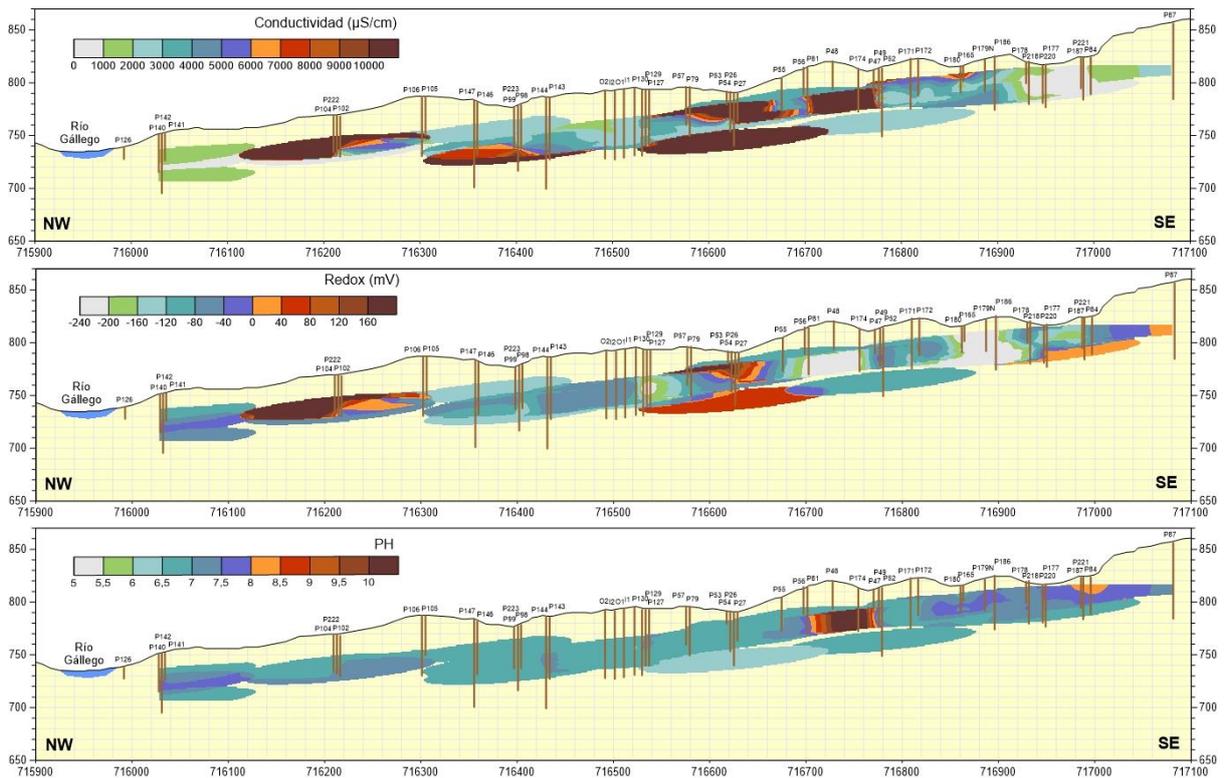


Figura 3. Distribución de la conductividad, redox y pH en profundidad la capa M (octubre 2023)



2.5.2 Resultados analíticos de la campaña de muestreo semestral

En las siguientes figuras se representa la distribución de las concentraciones de los tres compuestos principales analizadas en las campañas de muestreo en una vista en planta para el conjunto del emplazamiento, así como la distribución de los mismos compuestos en profundidad en un perfil de la capa M, desde aguas arriba del vaso desmantelado hasta el río Gállego

Figura 4. Distribución de la afección por benceno. Vista en planta (abril 2023)

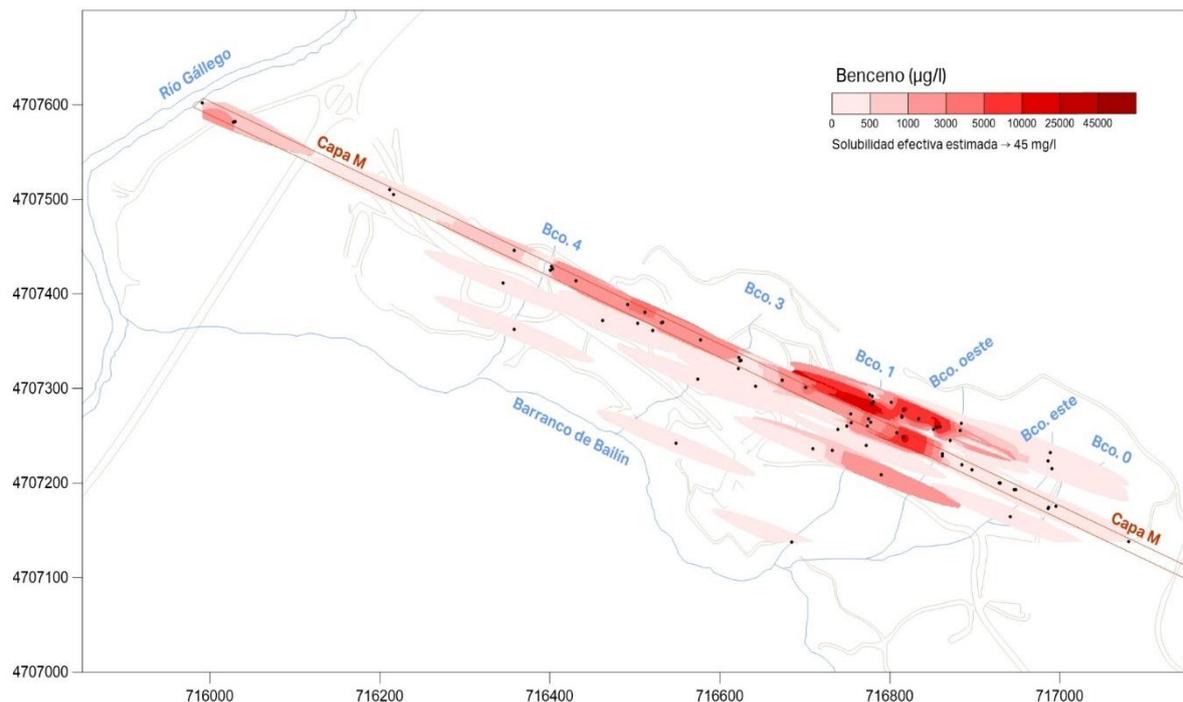


Figura 5. Distribución de la afección por benceno. Vista en planta (octubre 2023)

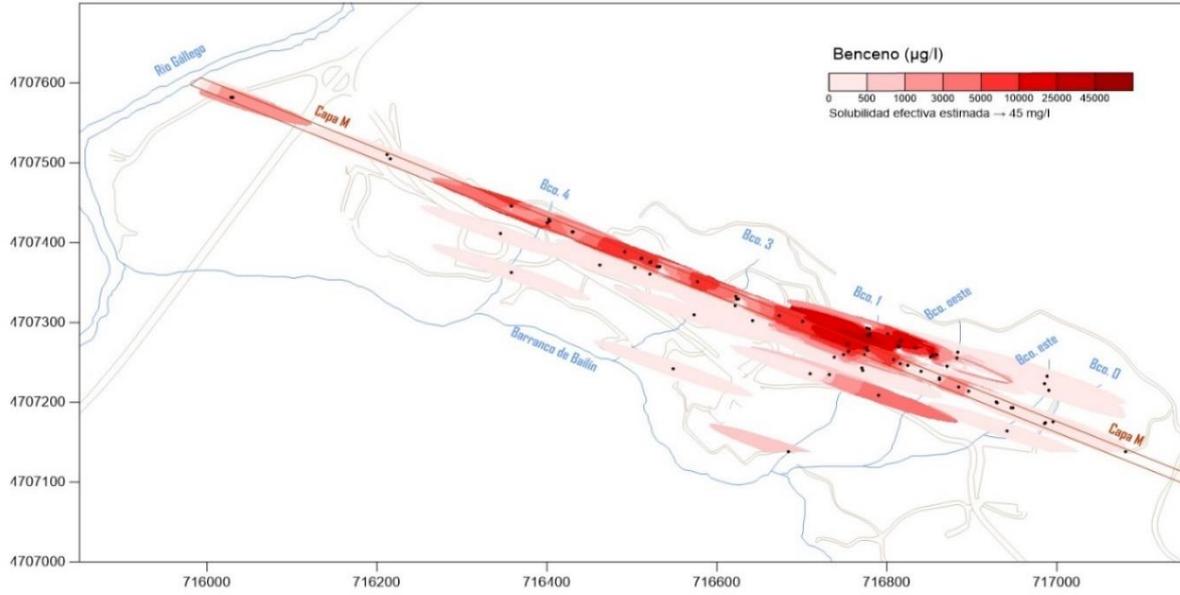


Figura 6. Distribución de la afección por monoclorobenceno. Vista en planta (abril 2023)

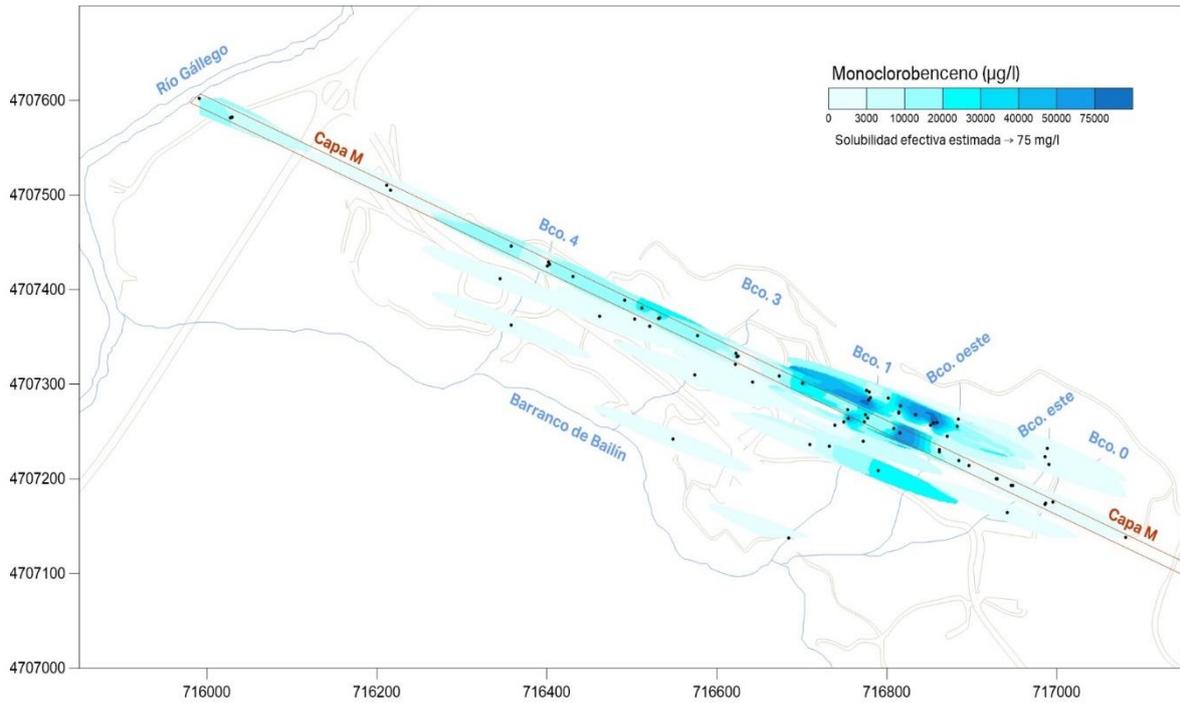


Figura 7. Distribución de la afección por monoclorobenceno. Vista en planta (octubre 2023)

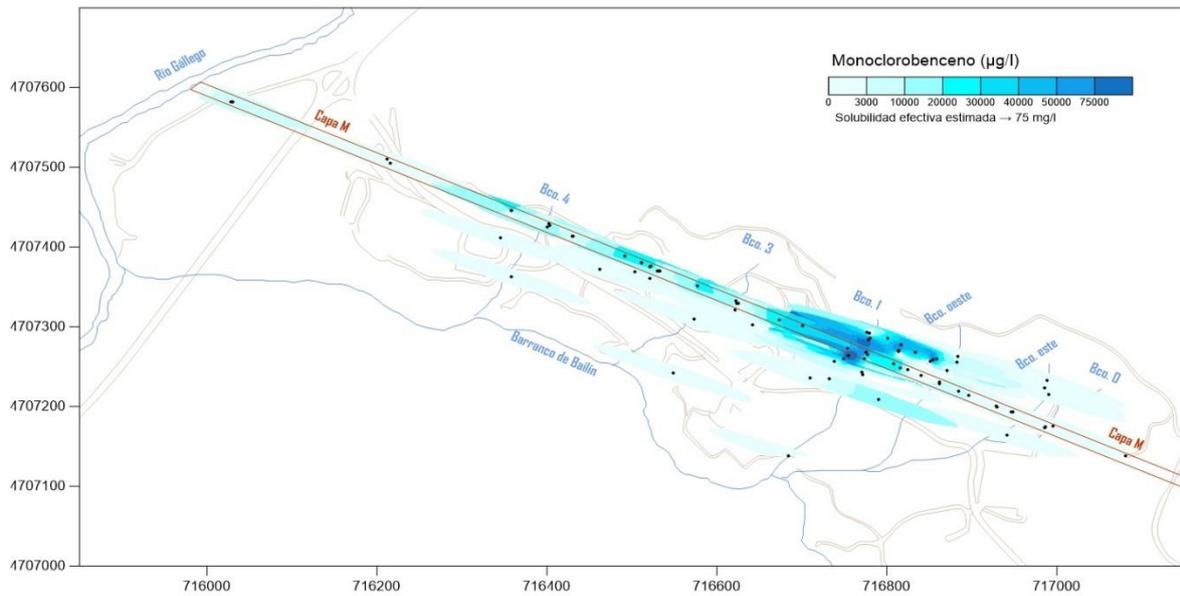


Figura 8. Distribución de la afección por HCH total. Vista en planta (abril 2023)

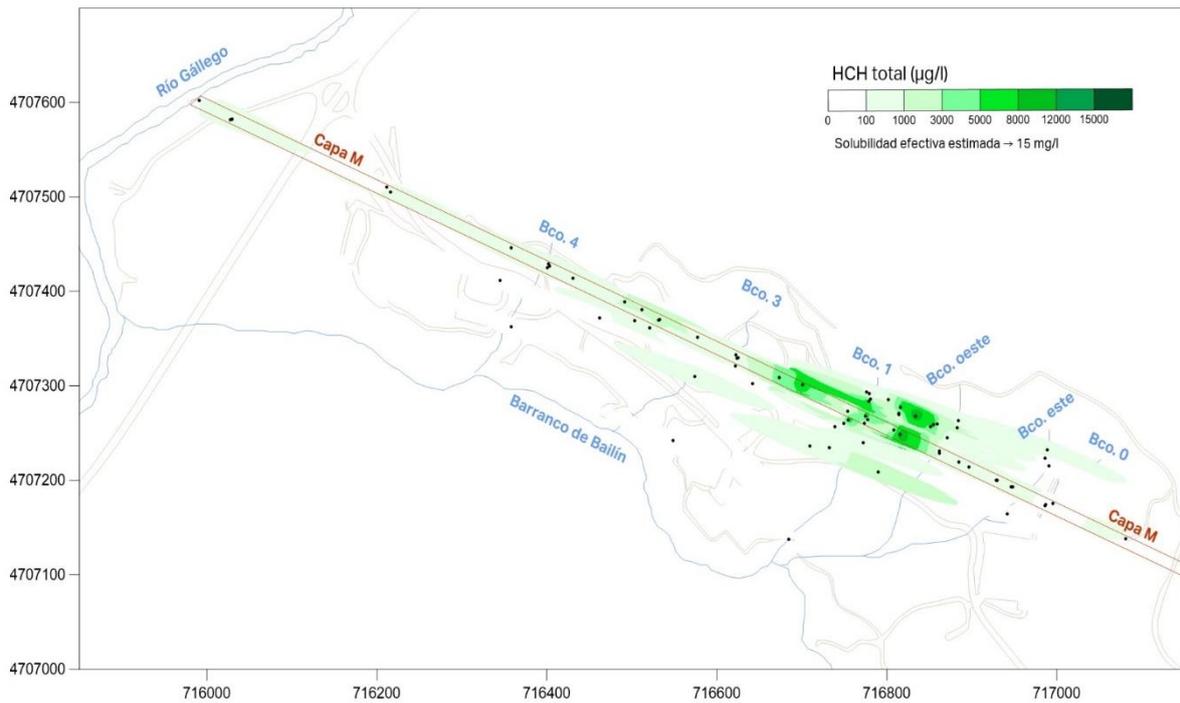
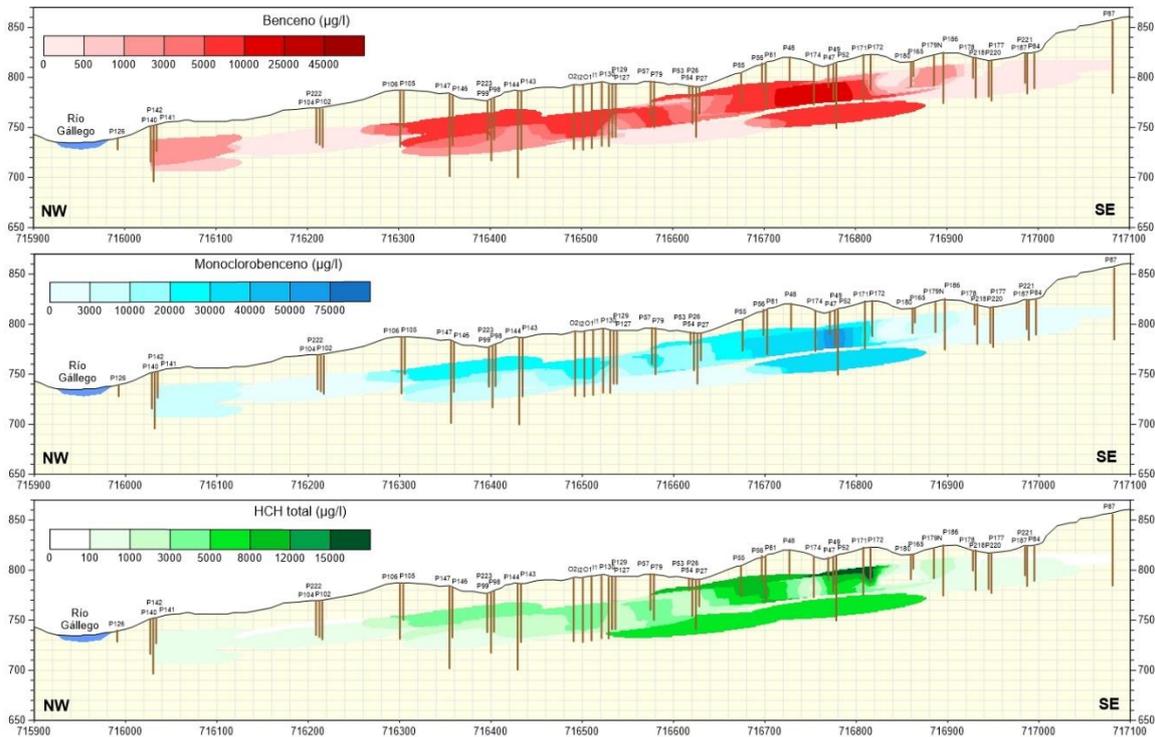


Figura 11. Distribución de la afección por benceno, clorobenceno y HCH total. Vista en perfil de la capa M (octubre 2023)



En general, las concentraciones más elevadas de todos los compuestos se detectan en los sondeos con presencia de DNAPL, situados en zonas del barranco oeste del vaso y Zona 0.

Las concentraciones más elevadas de benceno y monoclorobenceno se analizan en sondeos de la capa K situados en la Zona 0, y en sondeos de la capa I en Zona 0 y barranco oeste del vaso; principalmente aquellos con presencia de DNAPL. Puntualmente, se detectan concentraciones de monoclorobenceno por encima del límite de saturación residual en algunos puntos, como P175 (capa I, barranco oeste) y P72 (capa K, Zona 0) en la campaña de abril, o P86, de la capa O, en la campaña de octubre.

En cuanto al HCH, los valores más altos también se registran en sondeos con DNAPL o situados en zonas con DNAPL residual (capas I y M en barranco oeste, y capas K y M en Zona 0).

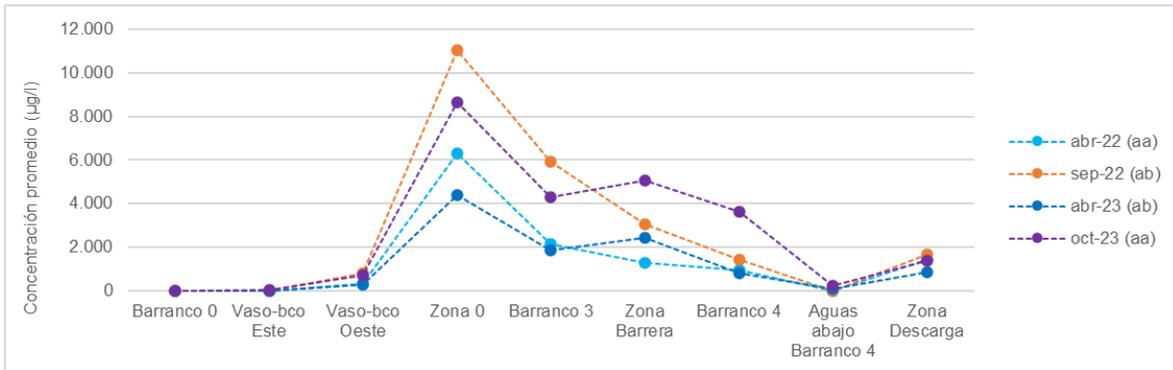
Si bien la distribución de las concentraciones no suele variar significativamente, los cambios entre las campañas se deben principalmente al régimen de precipitaciones, en ausencia de eventos o ensayos que puedan alterar la presencia de la carga contaminante. En este año, las concentraciones analizadas en octubre fueron generalmente mayores que las de abril, y se puede relacionar con el momento de transición de aguas bajas a altas, al elevarse el flujo de masa a causa del aumento del flujo de agua, que en abril era significativamente más bajo al llevar un tiempo el acuífero en aguas bajas, tal y como se comenta a continuación.

2.5.3 Evolución de la pluma de afección

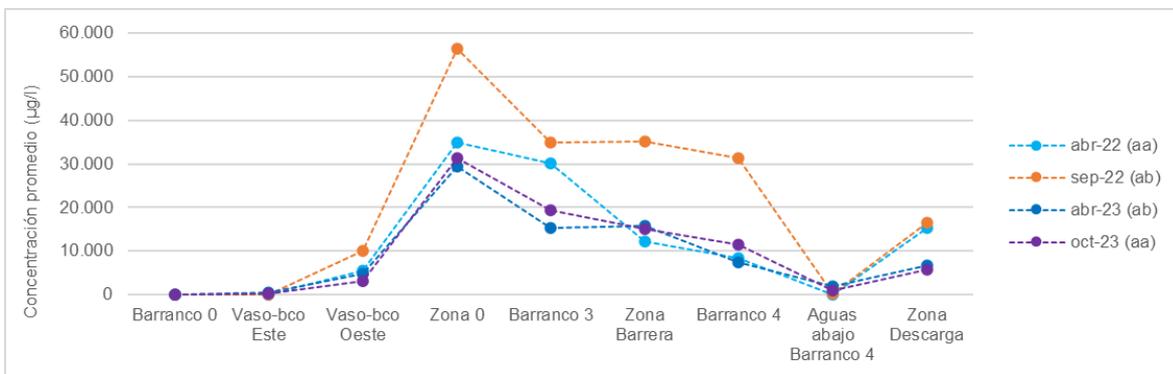
En la campaña de octubre se observa un aumento significativo de la afección en los tres compuestos respecto a la de abril, que afecta a prácticamente todas las áreas del emplazamiento, aunque especialmente a la capa M. Sobre todo, el incremento es más patente en la concentración de benceno y de HCH total. La pauta de la distribución de la afección en función del régimen estacional es coherente con el comportamiento habitual del acuífero. De este modo, el fuerte ascenso en cuanto al régimen de precipitación ha implicado un aumento de los niveles y del flujo de agua, incrementando la movilización de la carga contaminante por la red de fracturación principal.

En las siguientes gráficas se muestra la distribución de las concentraciones promedio en sondeos de la capa M por zona del emplazamiento, para las últimas 4 campañas semestrales de muestreo para cada compuesto. Se indica si la campaña se realizó en aguas altas (“aa”) o aguas bajas (“ab”).

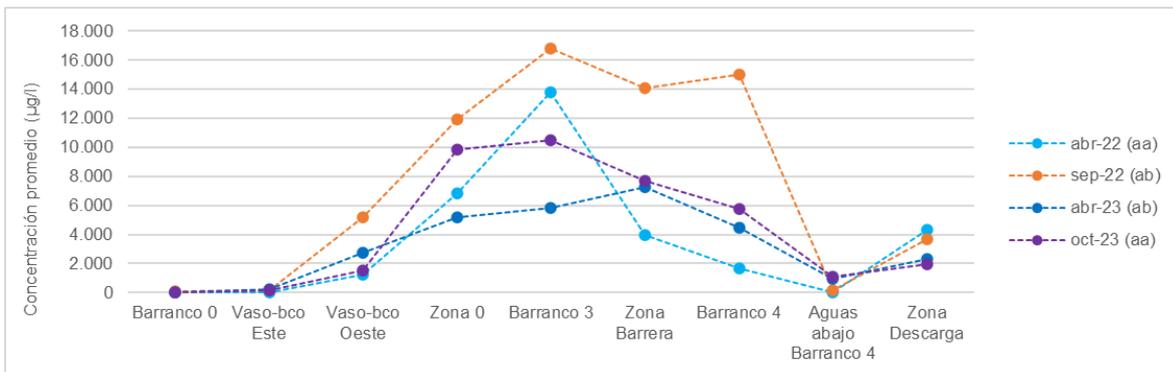
Gráfica 20. Distribución de la concentración promedio de benceno por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023)



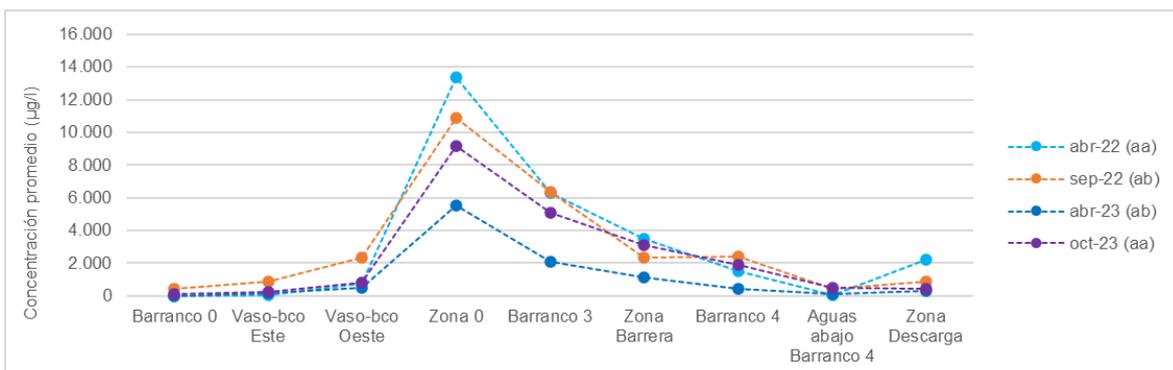
Gráfica 21. Distribución de la concentración promedio de monoclorobenceno por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023)



Gráfica 22. Distribución de la concentración promedio de los clorobencenos (>1 Cl) por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023)



Gráfica 23. Distribución de la concentración promedio de HCH total por zona (abril 2022-septiembre 2022-abril 2023-octubre 2023)



Tal y como se muestra en las gráficas, la concentración promedio de **benceno** aumentó en la campaña octubre respecto a las anteriores en los sondeos de la Zona de Barrera y Barranco 4. En zonas de foco y Barranco 3, únicamente en la campaña realizada en septiembre de 2022 se analizaron mayores concentraciones promedio de benceno. Esta campaña se efectuó en una época extremadamente seca y coincidió con la finalización de los ensayos que se habían estado efectuando en el marco del proyecto LIFE.

Destaca la mayor concentración promedio registrada en sondeos de la Zona de Barrera respecto a los del Barranco 3, y la disminución paulatina hasta Zona de Descarga, donde las concentraciones son bastante homogéneas en todas las campañas (aguas abajo del Barranco 4, debido a que los sondeos no se encuentran bien conectados a la capa M, las concentraciones promedio habitualmente siempre son más bajas que en Zona de Descarga).

En cuanto al **monoclorobenceno**, las concentraciones promedio son similares a casi todas las campañas, a excepción de la de septiembre de 2022, que destacó por presentar concentraciones bastante elevadas en todos los compuestos más volátiles, y que tal y como se ha comentado, pudo deberse a la influencia de los ensayos del LIFE y al efecto de la "concentración" de carga contaminante en el escaso agua de los sondeos debido a la situación de extrema sequía que se estaba registrando.

En este caso, sin tener en cuenta la concentración promedio de los sondeos aguas abajo del Barranco 4, poco representativa, la disminución de las concentraciones promedio desde Zona 0 hasta Zona de Descarga sigue una tendencia bastante lineal.

Respecto a la suma de los **clorobencenos** (sin tener en cuenta el monoclorobenceno), lo que destaca es el incremento que se va produciendo desde zonas poco afectadas hasta el Barranco 3 (o Zona de Barrera en el caso de la campaña de abril de este año), donde suelen presentar las concentraciones más elevadas, para luego disminuir hasta Zona de Descarga.

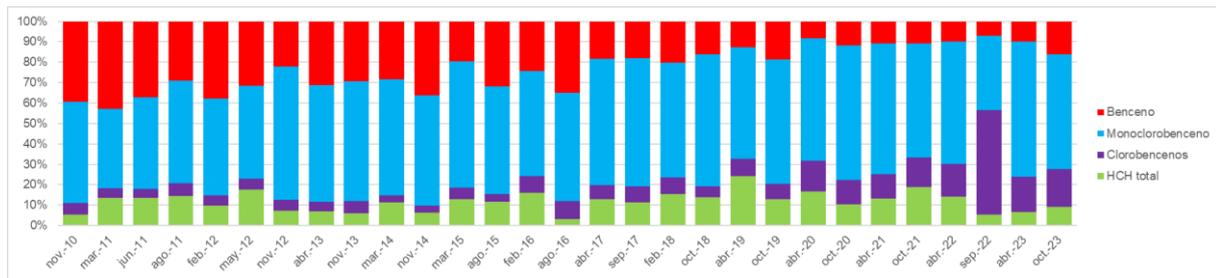
El hecho de que las mayores concentraciones no se detecten en zonas de foco (barranco oeste del vaso o Zona 0) es concordante con la generación de estos compuestos como productos secundarios de las reacciones de degradación de otros compuestos (como HCH total) a raíz de la ejecución de actuaciones de remediación en los últimos años, efectuadas principalmente en zonas medias de pluma; así como que su proporción se halla debilitada en la mezcla de DNAPL, presente en zonas de foco.

Para el **HCH total**, la oscilación de las concentraciones promedio entre campañas suele ser más acusada en zonas con mayor presencia de DNAPL (Zona 0) y se suele ir homogeneizando agua abajo, aunque la tendencia que siguen las concentraciones por zona presenta pocos cambios y está sujeta a una menor variabilidad respecto a otros compuestos, lo que probablemente esté relacionado con la naturaleza de este compuesto, más estable y persistente en el tiempo porque es menos fácilmente degradable.

Otra cosa interesante al resaltar de campaña de muestreo de octubre es el aumento detectado en la proporción de benceno respecto al resto de compuestos principales. En la siguiente gráfica se muestra la evolución en las proporciones entre los diferentes compuestos analizadas en los muestreos semestrales realizados desde noviembre de 2010.

Tal y como se observa, la tendencia de la proporción del benceno mostraba un claro descenso teniendo en cuenta todo el histórico y los ascensos detectados entre campañas solían ser puntuales. No obstante, este aumento se ha registrado en las dos últimas campañas, lo que puede ser una causa directa de la ejecución de varias actuaciones de remediación. El benceno, en detrimento debido a su naturaleza y agotamiento en la fase libre, es el producto final de la degradación de compuestos más complejos, y su aumento podría evidenciar que se están produciendo estos procesos de degradación activos.

Gráfica 24. Evolución de las proporciones en los diferentes compuestos campañas semestrales muestreo (noviembre 2010-octubre 2023)



2.5.4 Control de calidad. Duplicados

En todas las campañas semestrales de muestreo se realiza un control de calidad mediante la toma de muestras duplicadas, que se envían para su análisis a un laboratorio de referencia externo (SGS). Los resultados obtenidos se contrastan con las concentraciones determinadas por el laboratorio de la DGA. Es necesario la realización de estos análisis de contraste para mantener la calidad de los resultados analíticos y detectar posibles anomalías, que podrían ocurrir obteniéndolos de una única fuente.

Durante las campañas de este año se han tomado muestras duplicadas de los sondeos P129, P98, P142 y P26. En las siguientes tablas se recogen los resultados tanto del laboratorio de la DGA como de SGS.

Tabla 9. Resultados analíticos (µg/l) muestras de contraste (abril 2023)

Compuesto	P142		P98		P129		P26	
	DGA	SGS	DGA	SGS	DGA	SGS	DGA	SGS
alfa-HCH	14	110	137	380	328	770	31	58
beta-HCH	3	24	32	80	45	110	8	14
gamma-HCH	8	18	5	4	11	41	52	60
delta-HCH	134	920	411	2.400	933	5.000	277	300
épsilon-HCH	48	240	290	790	507	1.300	58	54
HCH-total	207	1.312	875	3.654	1.824	7.221	425	486

Tabla 10. Resultados analíticos (µg/l) muestras de contraste (octubre 2023)

Compuesto	P26		P129		P98		P142	
	DGA	SGS	DGA	SGS	DGA	SGS	DGA	SGS
alfa-HCH	896	21	324	220	223	430	85	170
beta-HCH	58	2	52	42	43	65	13	25
gamma-HCH	1.172	15	8	19	13	14	281	45
delta-HCH	2.851	110	1.437	2.400	1.010	4.500	74	1.600
épsilon-HCH	224	20	253	500	173	920	29	430
HCH total	5.201	168	2.074	3.181	1.462	5.929	482	2.270

En la campaña de abril, los resultados reportados por ambos laboratorios han sido muy dispares entre sí, a excepción de P26. El isómero delta-HCH es el que mayores discrepancias ha presentado. En general, el laboratorio SGS es el que ha reportado concentraciones más elevadas.

Por su parte, en la campaña de octubre también se detectaron diferencias en P26 y P142 de entre uno y dos grados de magnitud en el análisis de todos los isómeros. En el caso del laboratorio de la DGA, se ha reportado al alza en P26 mientras que ha sido a la baja en P142. En las dos últimas campañas se viene hallando una discrepancia algo más significativa respecto al histórico, lo que se irá monitorizando en futuras campañas.

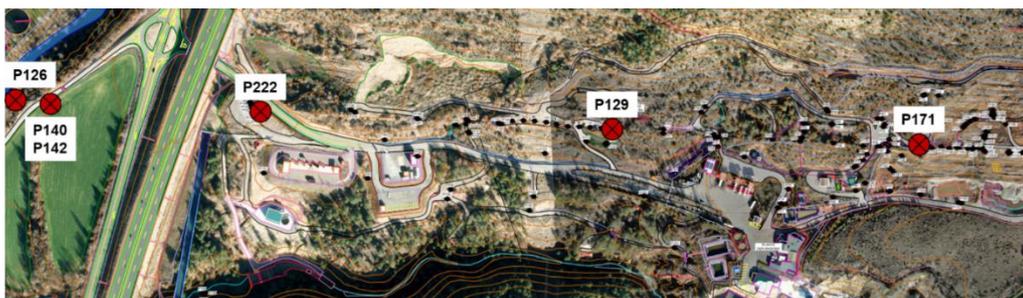
2.6 Campañas de muestreo mensual

Desde marzo de 2015, se lleva a cabo un seguimiento mensual de la evolución de las concentraciones en los sondeos P126, P140 y P142 de la Zona de Descarga. El motivo de efectuar este control más detallado se debió a la detección de valores máximos de benceno, monoclorobenceno y HCH total en P126, sondeo que se ubica en la capa M a orillas del río Gállego, en la campaña de muestreo realizada en el mes de marzo de 2015, unos 6 meses después de que terminaran las obras del desmantelamiento del vertedero de HCH.

Gracias a este seguimiento más en detalle, se puede obtener una imagen periódica de la evolución y estado de la pluma de afección en su cercanía al río Gállego. No obstante, a lo largo de los años, los trabajos de remediación y de control en el vertedero de Bailín han ido aumentando de manera progresiva. Bajo estas condiciones, es más probable que se produzcan más frecuentemente cambios y variaciones en la pluma en fase disuelta, no solamente inducidos por efectos estacionales, sino también por las actuaciones llevadas a cabo,

Por tanto, de acuerdo con la Dirección Facultativa, desde mayo de 2022 se ha ampliado el número de sondeos de control que se muestrean con frecuencia mensual, para valorar la evolución de la pluma desde la zona de foco hasta la Zona de Descarga. Así, se ha añadido tres sondeos ubicados en la capa M en diferentes zonas del emplazamiento: P222 (aguas abajo del Barranco 4), P129 (Zona de Barrera) y P171 (Zona 0). En la siguiente figura se muestra la ubicación de los sondeos sobre un plano del emplazamiento.

Figura 12. Ubicación de los sondeos incluidos en la campaña mensual de muestreo



Cabe destacar que, desde octubre de 2015, las campañas mensuales de muestreo de los tres sondeos de la Zona de Descarga (P126, P140 y P142) se realizan con filtro de 0,45 μm , debido a la excesiva turbidez que presentan habitualmente las muestras en esta zona. Cabe destacar que el empleo de los filtros no repercute significativamente en las concentraciones de los compuestos más volátiles como el benceno y monoclorobenceno, de modo que se garantiza un seguimiento más homogéneo de la evolución de estos compuestos. No obstante, para no comprometer el análisis de la evolución de las concentraciones, en las campañas de muestreo semestral se toman también muestras sin filtro en estos sondeos.

Por su parte, debido a que los muestreos de los sondeos P222, P129 y P171 se realizaban históricamente sin filtro, se ha mantenido este método para mantener la comparabilidad. Es por ello que la comparación directa de las muestras tomadas en los sondeos P222, P129 y P171 con las de la Zona de Descarga debe realizarse con cautela.

Así mismo, a raíz de las diferencias detectadas en el último año en las concentraciones de HCH de las muestras tomadas con y sin filtro, se ha añadido la medición de la turbidez como parámetro adicional de control. La turbidez da una idea de la cantidad de finos en suspensión que pueden existir en una muestra, lo cual está directamente relacionado con una mayor concentración de partículas en suspensión en el agua subterránea y, por tanto, una potencial mayor concentración de contaminantes.

Especialmente, el HCH, al ser un compuesto hidrófobo, se adhiere al material particulado con mayor facilidad que el resto de los compuestos presentes en el agua subterránea, que son más solubles, y al aumentar la proporción de finos, puede producirse un aumento en su concentración.

Por último, con motivo de favorecer la biodegradación aeróbica de los compuestos volátiles antes de su descarga al río Gállego, en acuerdo con la Dirección Facultativa y la CHE, se definió una actuación de control basada en la instalación de dispositivos de liberación pasiva de oxígeno (ORCs, de sus

siglas en inglés) en los sondeos P222, P140, P141 y P142. El alcance de esta actuación se presentó a la Dirección Facultativa en el documento **Propuesta para la adecuación y remodelación de los equipos de remediación de la Zona de Barrera**.

Estos dispositivos, de forma tubular, contienen peróxido de calcio en polvo, lo cual es un liberador lento de oxígeno activo cuando reacciona con el agua. En contacto con el agua subterránea, el peróxido de calcio comienza a diluirse lentamente.

El aporte de oxígeno facilita a la comunidad microbiana la capacidad de degradación aeróbica del benceno y clorobenceno, y además, gracias al carácter alcalino del producto, se induce un aumento de pH en el agua subterránea que favorece la reducción de concentraciones de HCH por procesos de deshalohidrogenación. Los ORCs se instalaron en los sondeos de control el día 6 de julio de 2023 según la siguiente distribución.

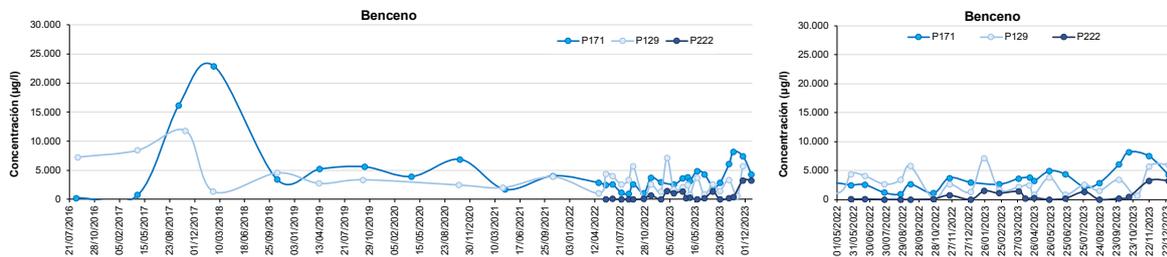
Tabla 11. Distribución de ORCs en los sondeos de control

Sondeo	Nº ORCs instalados	Diámetro ORCs	Longitud ORCs (m)	Profundidad instalación
P222	2	1"	1	33 y 37 m
P140	4	1"	1	20, 24,6, 29,2 y 34 m
P141	5	2"	0,4	16, 18,4, 20,8 23,2 y 25,6 m
P142	8	2"	0,4	40, 41,9, 43,8, 45,7, 47,6, 49,6, 51,6 y 53,6 m

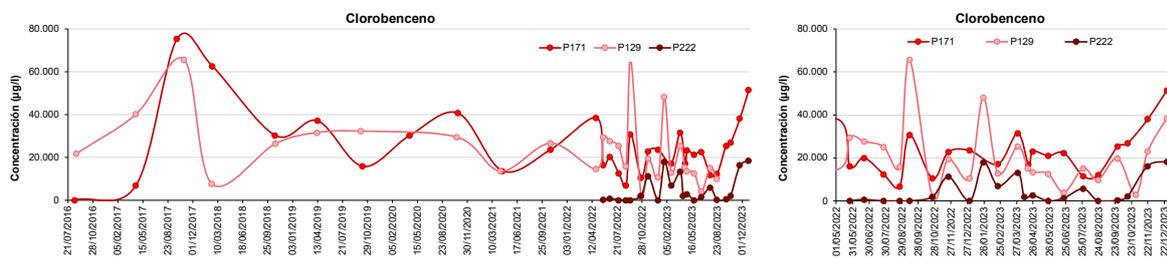
Resultados analíticos

En las siguientes gráficas se representa la evolución histórica de las concentraciones en P171, P129 y P222 hasta diciembre de 2023. Para facilitar la visualización, en la gráfica de la derecha se representa únicamente la evolución registrada desde que comenzaron los muestreos mensuales, en junio de 2022.

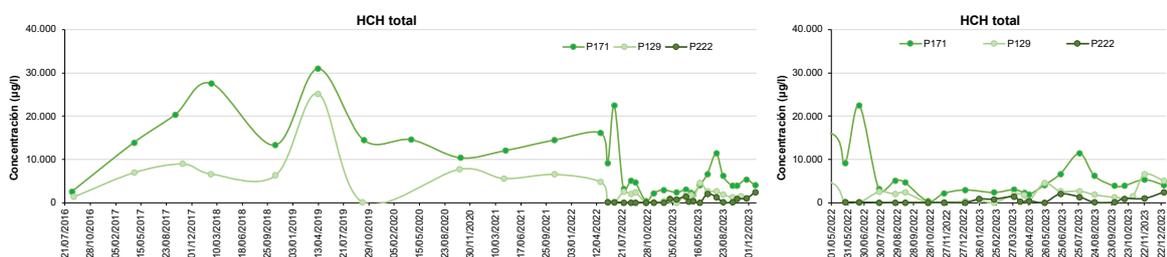
Gráfica 25. Evolución de las concentraciones de benceno en P222, P129 y P171 (2016-2023)



Gráfica 26. Evolución de las concentraciones de monoclorobenceno en P222, P129 y P171 (2016-2023)



Gráfica 27. Evolución de las concentraciones de HCH total en P222, P129 y P171 (2016-2023)



En las gráficas que se incluyen en la siguiente página se representa la evolución de las concentraciones en la Zona de Descarga desde octubre de 2015 hasta diciembre de 2023. En la parte inferior se señalan las actuaciones más relevantes que han podido tener influencia en la evolución de las concentraciones, como la instalación de los liberadores de oxígeno de mayo de 2016 a julio de 2018 ("ORCs"), los ensayos ISCO en 2016, 2019, 2020 y 2022 ("ISCO"), los ensayos de aireación y extracción de vapores en 2018 y 2019 ("AS/SVE"), actuaciones puntuales de inyección de oxidantes de 2019, 2020 y 2021 ("inyecciones") o los eventos enmarcados dentro del proyecto LIFE llevados a cabo entre 2021 y 2022.

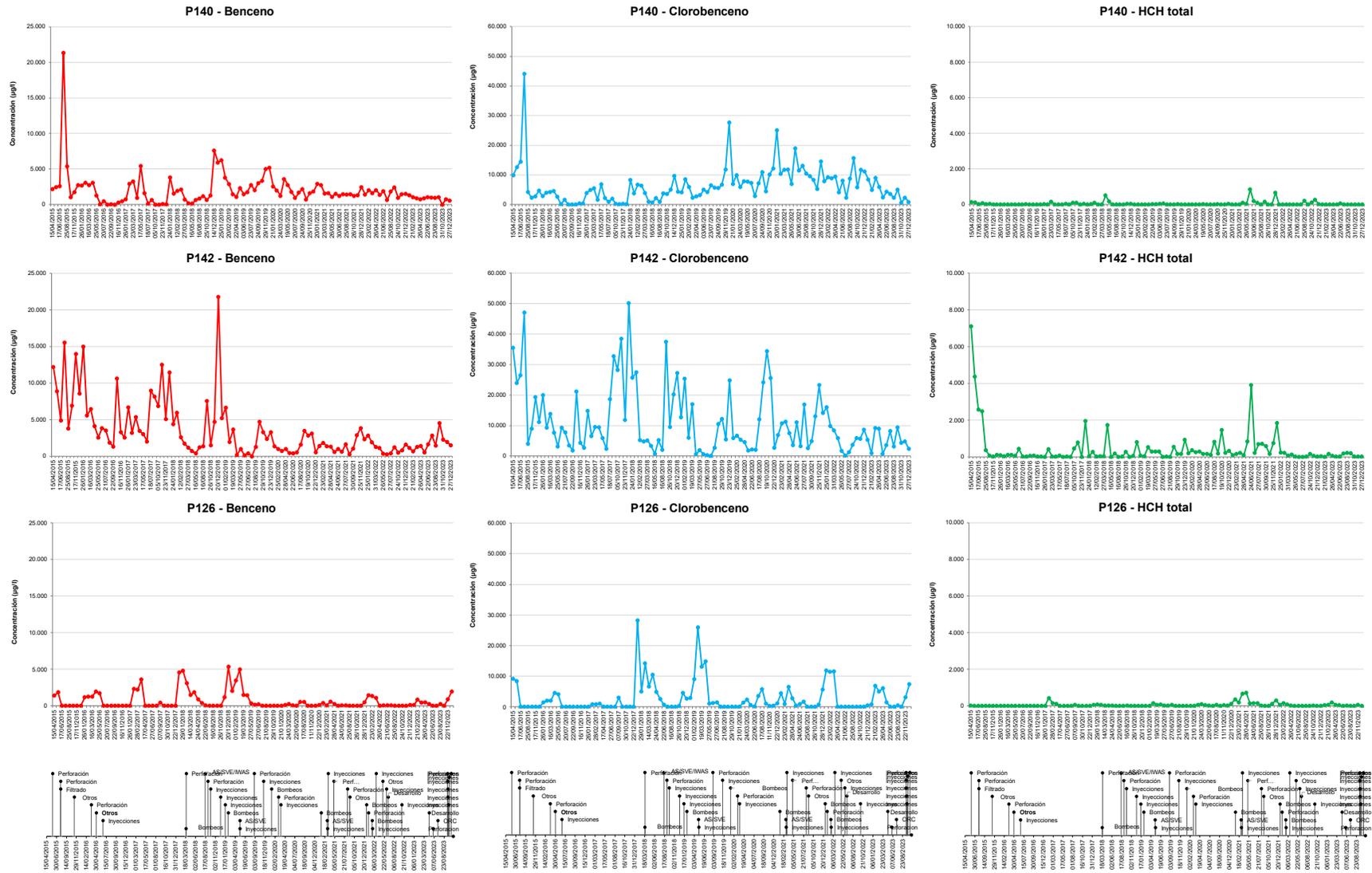
De acuerdo con la evolución de las concentraciones en las distintas zonas, se puede destacar lo siguiente:

- En el caso del **benceno**, las concentraciones aumentaron a principios de año pero fueron tendiendo a disminuir o mantenerse en prácticamente todas las zonas, a excepción de P126, donde se detectó un repunte hacia finales de año. En este caso, los aumentos de concentración se han venido relacionando históricamente con el aumento del flujo de masa a consecuencia de un mayor régimen de precipitaciones, cuyo efecto no se produce de forma inmediata, sino que depende de la velocidad de flujo que transporta la carga contaminante desde aguas arriba de la capa M, por lo que los incrementos de concentración se suelen detectar con retardo respecto al resto de sondeos.

En el caso del **monoclorobenceno**, en los sondeos de la Zona de Descarga, también se ha visto este comportamiento en P126, mientras que en P140 se observa una tendencia a la baja a lo largo del año, y en P142 es más fluctuante, aunque el rango de concentraciones máximo y mínimo se ha acotado desde el año 2022, no superando los 10 mg/l en estos dos últimos años. En los sondeos aguas arriba (P171, P129 y P222), se ha ido detectando una tendencia ascendente desde que comenzara la época de aguas altas en el mes de octubre.

- En cuanto al HCH total, las concentraciones se mantienen estables, sin variaciones significativas en todos los sondeos de control, a excepción de un repunte puntual que se produjo en P171 (capa M, Zona 0) en julio, coincidiendo con la actuación de desarrollo de sondeos realizada en la zona.

Gráfica 28. Evolución de las concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total en los sondeos P140, P142 y P126 (octubre 2015-diciembre 2023)



2.7 Seguimiento del sistema de drenaje ubicado en la Zona 0

En el mes de junio de 2023, se llevaron a cabo trabajos de limpieza y aspiración de arquetas y tuberías del sistema de drenaje ubicado en la Zona 0, ya que parte de las conducciones se encontraban colmatadas, y se propuso llevar a cabo un seguimiento de los caudales subsuperficiales que discurren por el barranco que atraviesa norte-sur esta zona del emplazamiento (barranco 2) y de las concentraciones de esta agua con los siguientes objetivos:

- Establecer una relación entre los caudales subsuperficiales y la presencia de fase libre residual en el subsuelo en esta zona.
- Dimensionar la capacidad drenante del sistema y poder replantear uno similar, o con ciertas modificaciones, en caso de plantear actuaciones de sellado de la capa M en un futuro.

En la siguiente figura se muestra un esquema sintetizado del sistema de drenaje y la situación de las arquetas (1, 2 y 3) y tuberías, y a continuación, se adjuntan fotografías de las 3 arquetas: la de la izquierda corresponde a la arqueta 3, donde vierte la tubería 2; la del medio corresponde a la arqueta 2, donde finaliza el dren francés; y la de la derecha corresponde a la arqueta 1, que recolecta los 4 ramales (3 en el fondo de la arqueta y un cuarto más elevado sobre las escaleras de acceso).

Figura 13. Sistema de drenaje Zona 0 esquematizado

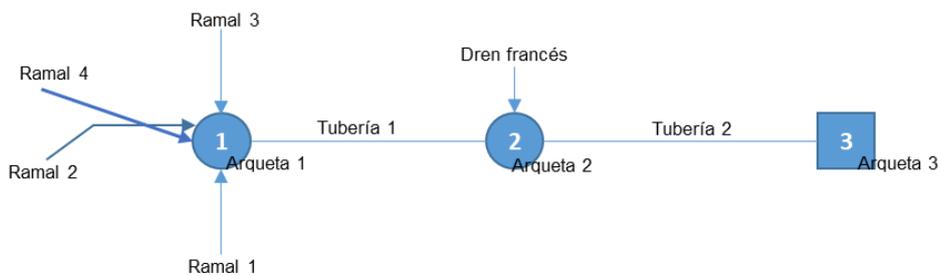


Figura 14. Fotografías de las 3 arquetas del sistema de drenaje de la Zona 0



Para el estudio, se han ido realizando labores de aforado y muestreo de los caudales en varios puntos del sistema con una periodicidad semanal: ramal 1, ramal 2, ramal 3, ramal 4, arqueta 2, dren francés y arqueta 3.

En la siguiente tabla se muestra el caudal medido en cada punto de control y el acumulado en m³/día medido desde el día 28 de junio, cuando comenzó el seguimiento. Cabe mencionar que, debido a que el fondo de la arqueta 1 se encuentra a 3,5 m de profundidad, no es posible acceder a las tuberías de drenaje (ramales) para tomar una muestra o medir el caudal con métodos precisos.

Tabla 12. Caudales medidos en el sistema de drenaje Zona 0 (junio-diciembre 2023)

Fecha	Ramal 1	Ramal 2	Ramal 3	Ramal 4	Arqueta 2 (tubería 1)	Dren Francés	Arqueta 3 (tubería 2)
28/06/2023	0,134	0,101	0	0	0,984	0	1,152
03/07/2023	0,104	0	0	0	0,504	0	0,245
10/07/2023	0	0	0	0	0,141	0	0
18/07/2023	0	0	0	0	0	0	0
26/07/2023	0	0	0	0	0	0	0
31/07/2023	0	0	0	0	0	0	0
08/08/2023	0	0	0	0	0	0	0
17/08/2023	0	0	0	0	0	0	0
21/08/2023	0	0	0	0	0	0	0
29/08/2023	0	0	0	0	0	0	0
04/09/2023	0	0	0	0	0	0	0
14/09/2023	0	0	0	0	0	0	0
19/09/2023	0	0	0	0	0	0	0
27/09/2023	0	0	0	0	0	0	0
04/10/2023	0	0	0	0	0	0	0
09/10/2023	0	0	0	0	0	0	0
20/10/2023	0	0	0	0	0	0	0
24/10/2023	0	-	0	-	1,469	0	1,418
31/10/2023	0	-	0	-	2,880	0	2,880
08/11/2023	-	-	-	-	2,023	0	1,728
16/11/2023	-	-	0	0	1,238	0	0,907
21/11/2023	-	0	0	0	0,547	0	0,230
28/11/2023	0	0	0	0	0	0	0
05/12/2023	-	-	-	0	2,304	0	2,304
12/12/2023	-	-	-	0	2,520	0	2,016
19/12/2023	0	-	0	0	1,714	0	1,426
26/12/2023	0	0	0	0	0,763	0	0,461
Acumulado (m³/día)	0,238	0,101	0	0	17,087	0	14,767
Caudal total acumulado (m³/día) del 28 de junio al 31 de diciembre							32,193

De forma general, los caudales medidos en las tuberías de drenaje son más elevados que los correspondientes a la suma de caudales de los elementos anteriores al punto de medición, sobre todo en la arqueta 2 (es decir, el caudal que sale por la tubería 1 a la arqueta 2 es más alto que el sumatorio de los ramales que conectan a la arqueta 1), lo que indica que se produce un aporte de escorrentía hacia las arquetas no solo a través de las conducciones que las conectan.

Esto es debido a la rotura en las tuberías 1 y 2, que conectan las tres arquetas, como pudo comprobarse grabando ambas tuberías con la cámara de video de los sondeos. Las roturas son consecuencia del crecimiento de raíces de los árboles colindantes.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las concentraciones de benceno, monoclorobenceno y HCH total analizadas en cada arqueta. Cabe destacar que el día 28 de junio no pudo muestrearse la arqueta 2. Tampoco se puede muestrear la arqueta 1 por la imposibilidad de acceder a las tuberías de drenaje (ramales), y no se acumula un volumen de agua suficientemente alto como para poder tomar una muestra del fondo de la arqueta con un muestreador o recipiente de muestreo.

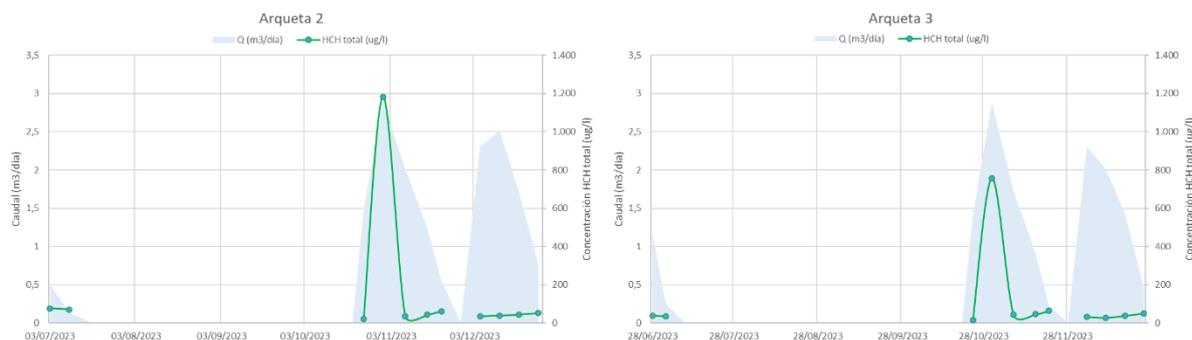
Tabla 13. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total (junio-diciembre 2023)

Fecha	Arqueta 2 (tubería 1)			Arqueta 3 (tubería 2)		
	Benceno (µg/l)	Monoclorobenceno (µg/l)	HCH total (µg/l)	Benceno (µg/l)	Monoclorobenceno (µg/l)	HCH total (µg/l)
28/06/2023	-	-	-	0,59	0,28	39,36
03/07/2023	<0,1	0,24	76,30	<0,1	0,28	35,83
10/07/2023	<0,1	0,37	71,08	Sin agua	Sin agua	Sin agua
24/10/2023	<0,1	0,18	21,16	<0,1	0,11	15,41
31/10/2023	<0,1	1,57	1.181,7	<0,1	1,86	757,29
08/11/2023	<0,1	1,66	35,21	0,21	4,03	42,82
16/11/2023	<0,1	0,61	42,98	0,21	5,86	45,83
21/11/2023	<0,1	0,33	61,13	<0,1	1,22	63,83
05/12/2023	<0,1	0,79	33,89	0,28	5,06	32,27
12/12/2023	<0,1	0,70	38,41	0,23	4,86	27,83
19/12/2023	0,10	1,20	43,10	0,19	3,54	39,00
26/12/2023	<0,1	0,22	51,54	0,10	4,92	50,24

Las concentraciones son significativamente bajas en comparación con las observadas en el acuífero, siendo la concentración de HCH total la más alta en comparación con los compuestos más volátiles. Esto es concordante con la fuente de afección, ya que proviene del arrastre de escorrentías subsuperficiales y no del agua subterránea, siendo en este último caso la fuente principal de benceno y clorobenceno el DNAPL presente en las fracturas de la zona saturada.

En la siguiente gráfica se representa la evolución de caudales y concentraciones de HCH registrada desde junio a diciembre de 2023.

Gráfica 29. Evolución de caudales (m³/día) y concentraciones de HCH total (µg/l) en las Arquetas 2 y 3 de la Zona 0 (junio-diciembre 2023)



Los caudales que se recogen en las dos arquetas se producen en función del régimen de precipitaciones, coincidiendo con los episodios de mayor intensidad aquellos días en los que se registra un mayor caudal. En cuanto a la concentración de HCH, es muy similar en ambos puntos de registro, si bien se detectan concentraciones ligeramente mayores en la Arqueta 2, aunque también los caudales son ligeramente superiores.

Es notable por otro lado, el pico relativamente anormal de concentración que se analizó en el muestreo del día 31 de octubre, tras un evento de precipitación bastante significativo que tuvo lugar el día 30. Cabe destacar que en estas arquetas se recoge la escorrentía subsuperficial pero también se filtra escorrentía superficial, por lo que puede producirse un aporte de contaminación adicional, no solo debido al lavado de la red de fracturación más somera en la zona vadosa en esta zona de barranco.

En cualquier lugar, los caudales medios se sitúan entre los 0,55 m³/día (Arqueta 3) y los 0,62 m³/día (Arqueta 2), con máximos de algo menos de 3 m³/día en momentos de precipitación más intensa, lo que da una idea de la capacidad drenante del sistema. En este aspecto, se produce una pérdida de caudal entre ambos puntos de unos 0,07 m³/día debido a la rotura de las tuberías de conexión.

Así mismo, teniendo en cuenta los caudales por la concentración de HCH, el flujo de masa de HCH que se movería hacia la Arqueta 2, sin tener en cuenta los picos registrados el día 31 de octubre, se encontraría en torno a los 52 mg/día de media, y en la Arqueta 3, sobre los 39 mg/día.

3. Campañas de conductividad y temperatura

Los programas de control mediante la medida de perfiles de conductividad y temperatura son utilizados para evaluar, entre las campañas de muestreos semestrales, posibles variaciones en la calidad química del agua, que indiquen de forma indirecta cualquier variación estacional de las zonas de flujo preferentes, así como de la carga contaminante presente en el agua subterránea.

Así mismo, desde que se realizan tratamientos físico-químicos para la remediación, como los ensayos de oxidación química in situ (ISCO), que aumentan la conductividad del acuífero en equilibrio con las concentraciones, estas campañas también sirven para monitorizar la distribución de los aditivos en distintas partes de emplazamiento, y su agotamiento o persistencia en los sondeos.

Por lo general, se toman medidas de conductividad y temperatura con sondas tipo TLC cada 10 m desde el nivel del agua hasta prácticamente el fondo del sondeo, con la excepción de los sondeos de la capa M, donde se toman medidas cada 5 m.

La **temperatura**, en general, es un parámetro bastante homogéneo dentro del mismo sondeo, donde los perfiles muestran variaciones de la temperatura en la vertical influenciadas por factores como la carga hidráulica del acuífero, la presencia de escorrentía subsuperficial, la profundidad de los sondeos, o la presencia de DNAPL. Además, también hay que tener en cuenta que entre campañas también se producen variaciones asociadas a cambios estacionales.

Por su parte, la **conductividad** es un parámetro que puede tener una mayor variación y en condiciones de equilibrio varía fundamentalmente en función de la carga contaminante y la tasa de precipitación, que condiciona la recarga del acuífero y, en consecuencia, la renovación del agua subterránea en los sondeos. De manera general, los valores más altos de conductividad se suelen registrar en los sondeos con presencia de DNAPL y en los tramos profundos de los sondeos situados entre el Barranco 3 y Barranco 4, que tienen una menor recarga de agua.

Por otro lado, este parámetro también es sensible a la presencia de otros compuestos en el agua subterránea, como algunos aditivos empleados en los ensayos y trabajos de remediación que se inyectan en el acuífero. De este modo, se puede emplear como trazador para visualizar la distribución de los productos y evaluar su variación en función de las condiciones de equilibrio en el agua subterránea. Así mismo, es habitual que los compuestos persistan en mayor o menor medida en el interior de los sondeos con una conexión más limitada con la red de fracturación, especialmente en el fondo, donde pueden precipitar y mantenerse un tiempo más prolongado.

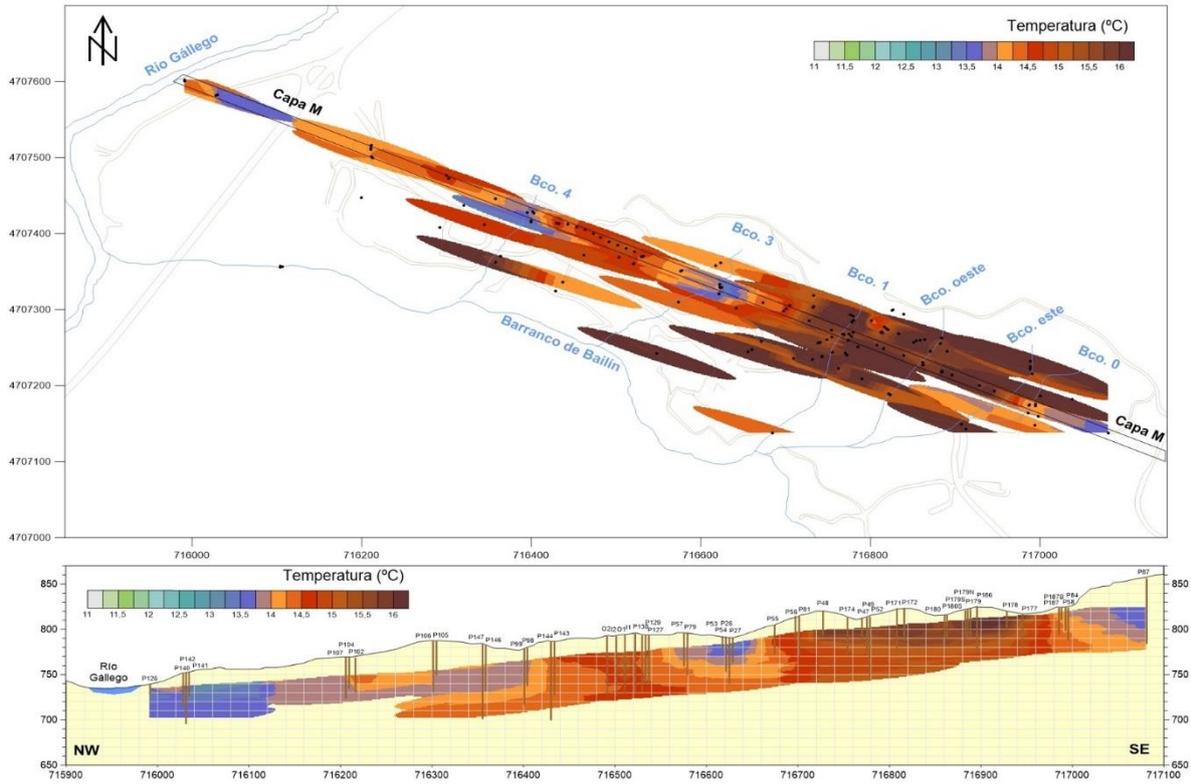
En las gráficas de las páginas siguientes se representa una vista en planta con los valores de temperatura y conductividad a la cota del nivel piezométrico junto con un perfil de la distribución de estos parámetros en la capa M en profundidad de las dos campañas efectuadas este año, en junio y diciembre.

Respecto a los valores de **temperatura**, los valores más altos se miden en los sondeos situados en la zona del vaso en las cotas más someras, y en sondeos del barranco 1 (Zona 0) situados en capas por debajo de la M. Así mismo, los sondeos en zonas de foco (vaso y Zona 0), con presencia de DNAPL y DNAPL residual, son los que muestran valores más elevados de temperatura en profundidad. Por su parte, los valores más bajos se suelen detectar en los sondeos del Barranco 0, Barranco 3, Barranco 4 y Zona de Descarga.

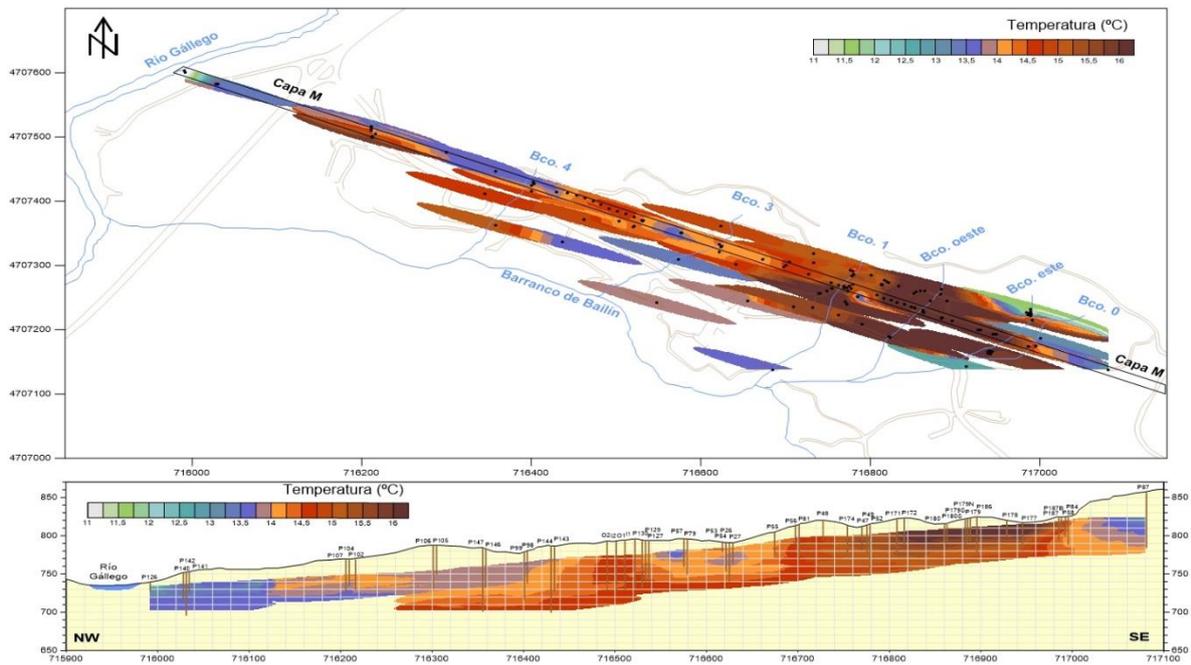
Respecto a los valores de **conductividad**, es notable el hecho de la persistencia en profundidad de los productos oxidantes inyectados en las diferentes actuaciones de remediación que se han efectuado en los últimos años, de modo existe una distribución de valores elevados de conductividad en la mayoría de los fondos de los sondeos situados en capa M desde el Barranco 3 hasta aguas abajo del Barranco 4, y en la zona del vaso.

A nivel, la influencia de la recarga debido a las precipitaciones mantiene los valores de conductividad por debajo de los 2.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ en sondeos de capa M, y en torno o por debajo de los 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ en el resto de capas.

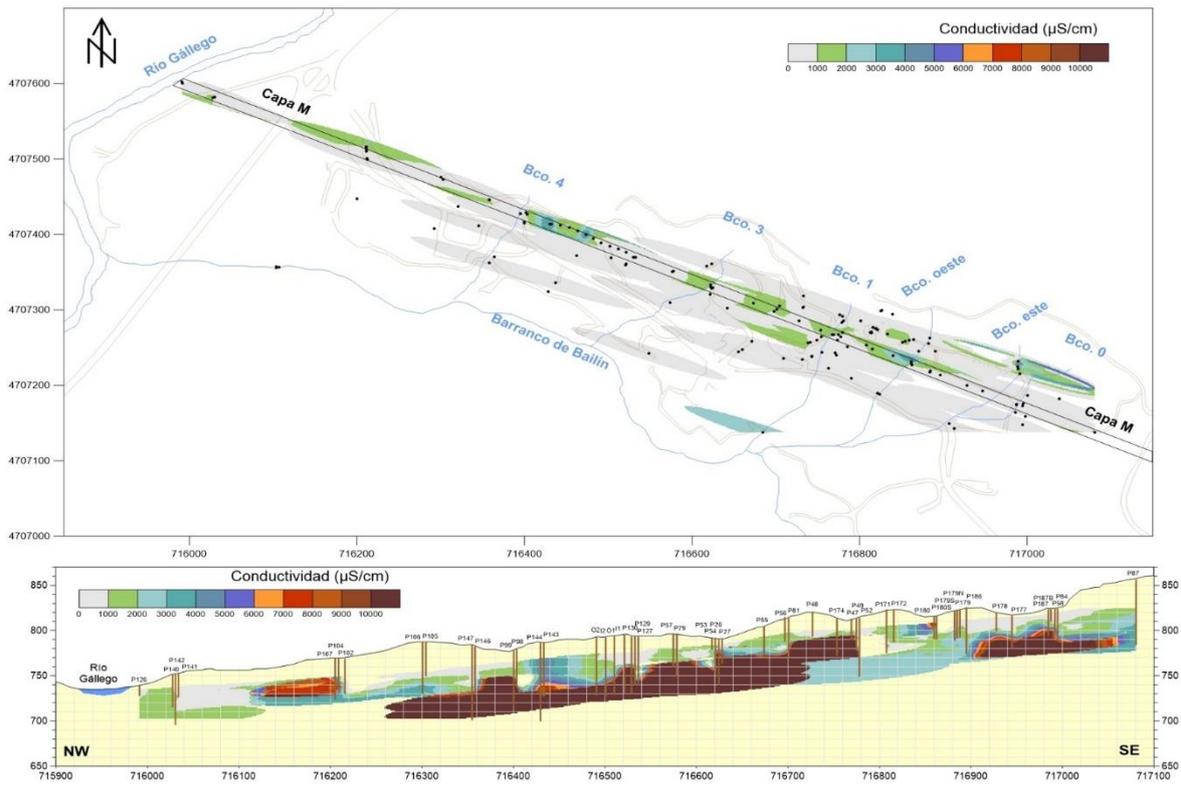
Gráfica 30. Distribución de la temperatura. Campaña junio 2023



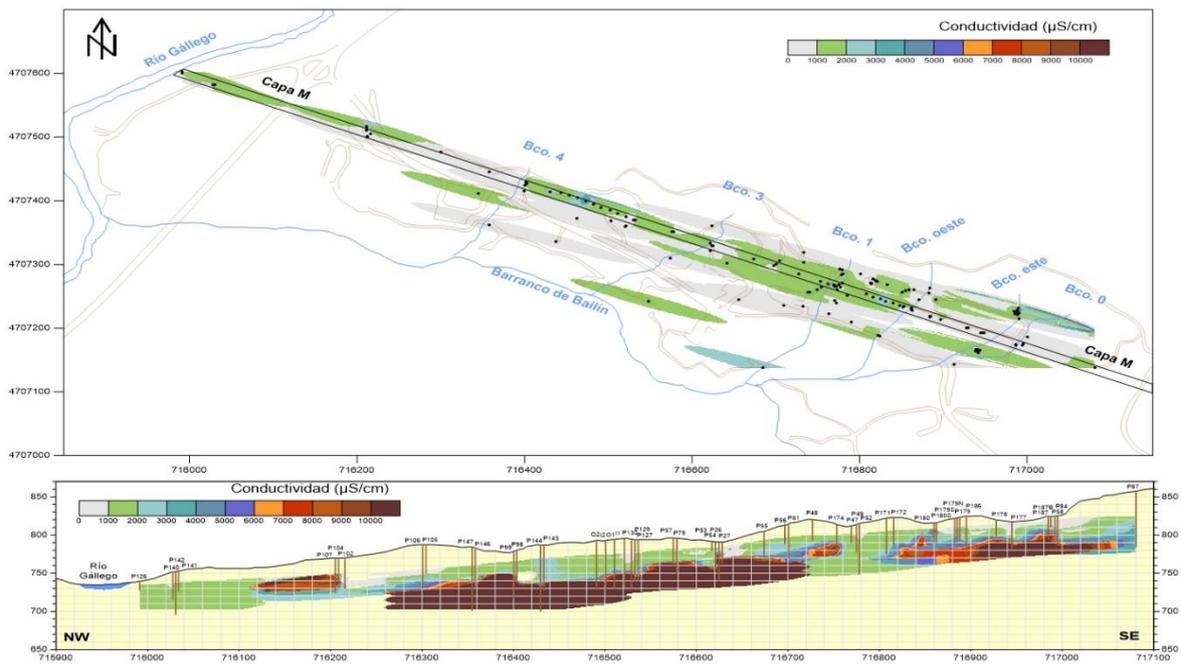
Gráfica 31. Distribución de la temperatura. Campaña diciembre 2023



Gráfica 32. Distribución de la conductividad. Campaña junio 2023



Gráfica 33. Distribución de la conductividad. Campaña diciembre 2023



4. Actuaciones de mantenimiento

El mantenimiento de todas las instalaciones y equipos disponibles en el emplazamiento constituye una labor prioritaria para garantizar el desarrollo óptimo de los trabajos de seguimiento. En particular, es indispensable mantener en perfecto estado de funcionamiento el sistema de extracción y todos los elementos que lo componen, de forma que las actuaciones de bombeo no se vean interrumpidas por eventuales fallos o por el desgaste de los componentes.

Durante los últimos años, se ha incrementado el número de equipos y tareas de mantenimiento a realizar en el seguimiento. Por ello, y con el objetivo de llevar un mayor control y trazabilidad de todos los trabajos, AECOM ha sistematizado y digitalizado gran parte de las tareas que se programan y actualizan semanalmente.

Las revisiones se efectúan con una periodicidad diversa (diaria, semanal y mensual en función del tipo de equipo o instalación) con el fin de identificar de forma preventiva fallos de funcionamiento o falta de operatividad de los equipos. La correcta planificación de estos trabajos repercute en una reducción de los tiempos y costes asociados a estos contratiempos, lo que mejora el servicio ofrecido al Gobierno de Aragón.

A continuación, se detallan las principales actuaciones relativas al mantenimiento de las instalaciones llevadas a cabo en el emplazamiento este año 2023. En el [Anexo A](#) se recoge el inventario de equipos y fungibles disponibles en el emplazamiento y en el [Anexo B](#) se recopilan fotografías relativas a los trabajos de mantenimiento realizados.

4.1 Actuaciones de mantenimiento correctivo

Las principales actuaciones de mantenimiento correctivo realizadas a lo largo del año se recopilan a continuación:

- Desmantelamiento bomba extracción sondeo P94.
- Descongelación del compresor de la Zona de Barrera.
- Reparaciones y cambio de tuberías en la red de extracción.
- Reparaciones y purgado del generador de emergencia.
- Reparación vallas de delimitación Zona Industrial.
- Reparación del asfalto de la zona de tolvas.
- Sustitución de cerraduras almacén de EPIS y taller.
- Reparación y limpieza de la bomba dosificadora de la planta de sosa.
- Sustitución del difusor instalado en el sondeo O1.
- Sustitución de la bomba de extracción de la planta de sosa.
- Retirada de la bomba atascada en el sondeo P172.
- Reparación del enchufe de alimentación eléctrica al sondeo P186.
- Reparación del enchufe de la bomba rana instalada en el Barranco 3.
- Reparación del grupo de presión de la Zona Industrial.
- Reparación de la escollera de la plataforma del sondeo P186.
- Reparación de bache en Zona Industrial.
- Sustitución de bomba y electroválvula en P52.
- Limpieza bomba P171.
- Reparación sistema inyección nutrientes en Zona de Barrera.
- Reparación equipo portátil control bombas bladder.

4.2 Actuaciones de mejora de las instalaciones

Las actuaciones realizadas a lo largo de 2023 relativa a la mejora de las instalaciones, incluyendo obras de adecuación de accesos, se resumen a continuación.

- Trabajos de desbroce, limpieza de cunetas y limpieza del sistema de drenajes de la Zona 0.
- Adecuación sondeos Zona Barrera para el ensayo de bioestimulación (instalación de cabezales y conexiones, montaje e instalación de resistencias).
- Remodelación de los escalones de acceso a la oficina.
- Hormigonado de la plataforma de la Zona de la Ermita (Zona 0).
- Rediseño de la electroválvula del compresor-maletín.
- Hormigonado de la solera de la caseta de la Zona de Barrera.
- Obras de acceso para la construcción de la balsa de infiltración.
- Mejora y modificación de la instalación eléctrica del sistema de bombeo instalado en el Barranco 3.
- Mejora de la instalación eléctrica de la Zona Industrial.
- Adecuación de plataforma en Zona 0 para la perforación de sondeos en capa M.
- Instalación de cabezales en los sondeos nuevos de la Zona de Barrera (I1S y O1S).
- Vallado de la plataforma situada en Zona 0.
- Mejora de la instalación eléctrica de alimentación e iluminación del vaso.
- Hormigonado de los taludes de las plataformas de los sondeos I1 y O1.
- Construcción de bordillo en el acceso de la caseta de la Zona de Barrera.

4.3 Otros trabajos

Otros trabajos realizados en el emplazamiento han sido:

- Desarrollo de sondeos en Zona de Barrera (I3, O3, I4 y O4), Zona 0 (P172) y vaso (P217, P178, P218, P219, P177, P220, P187, P221 y P186), con el objetivo de extraer restos de oxidante del fondo.
- Fabricación de prototipos de muestreadores pasivos para el ensayo de bioestimulación.
- Construcción de balsa de infiltración en el vaso y conexión de equipos eléctricos.

5. Perforación de sondeos

Este año 2023 se han llevado a cabo 3 campañas de perforación de sondeos, 2 realizadas en el mes de julio, y otra entre octubre y noviembre. El alcance de las campañas de perforación de julio de 2023 se presentó a la Dirección Facultativa en la **Propuesta de ensayos de tratamiento físico-químico de descontaminación zona vadosa**, y la de octubre se encuadraba dentro de la partida de perforación de sondeos detallada en el **Capítulo 2** del Pliego de Prescripciones Técnicas de la 2ª parte de la prórroga (mayo 2023-septiembre 2024) del Servicio de Seguimiento Hidrogeológico de Bailín.

Los trabajos de perforación se han ejecutado siguiendo en todo momento los protocolos y procedimientos de seguridad y salud específicos, y en coordinación con las empresas concurrentes en el emplazamiento, con el fin de evitar posibles interferencias.

Todos los registros de perforación de sondeos se encuentran recogidos en el [Anexo C](#).

5.1 Sondeos balsa infiltración y Zona de Barrera

Entre el día 12 de julio y el 1 de agosto se efectuó la perforación de 10 nuevos sondeos en el emplazamiento ubicados en el Barranco Oeste del vaso desmantelado (BAL1, BAL2, BAL3, BAL4, BAL5, BAL6, BAL7 y BAL8) y en la Zona de Barrera (I1S y O1S).

Los sondeos perforados en el vaso tenían como finalidad facilitar la infiltración de productos para realizar un ensayo de descontaminación físico-química en zona vadosa, complementando los trabajos de construcción de la balsa de infiltración.

Por otro lado, los sondeos en la Zona de Barrera se perforaron con el objetivo de captar toda la extensión de la capa M en esta zona, y con ello, lograr aumentar la efectividad de los tratamientos de remediación, así como mejorar el seguimiento de los trabajos de monitorización tanto de los ensayos físico-químicos como microbiológicos.

En el caso de los sondeos en el vaso fue necesario, con anterioridad al inicio de los trabajos, la ejecución de accesos adecuados para asegurar el correcto emplazamiento de la maquinaria de perforación y así garantizar la ejecución y la seguridad de los trabajos.

Asimismo, de manera previa al inicio de las perforaciones se realizaron tareas de conexión para el suministro de agua, instalación de tuberías y suministro eléctrico, y canalización de aguas a la red de depuración del emplazamiento.

Por último, a modo de control se instalaron sensores de medición del nivel piezométrico en continuo para la monitorización en tiempo real de los niveles del acuífero en zonas tanto de aguas abajo como de aguas arriba de la ubicación de los nuevos sondeos en la Zona de Barrera. En concreto, se instalaron hasta 10 sensores en los sondeos P130, I1S, O1, I2, O2 (Zona de Barrera), P223, P146, P147 (Barranco 4), P222 (aguas abajo del Barranco 4) y en P140 (Zona de Descarga).

La monitorización en tiempo real de los niveles piezométricos permitió llevar un control durante la propia ejecución de las perforaciones, y estudiar la conexión hidráulica de los nuevos sondeos con la red de fracturación existente en el macizo rocoso.

5.1.1 Ubicación y características de los sondeos

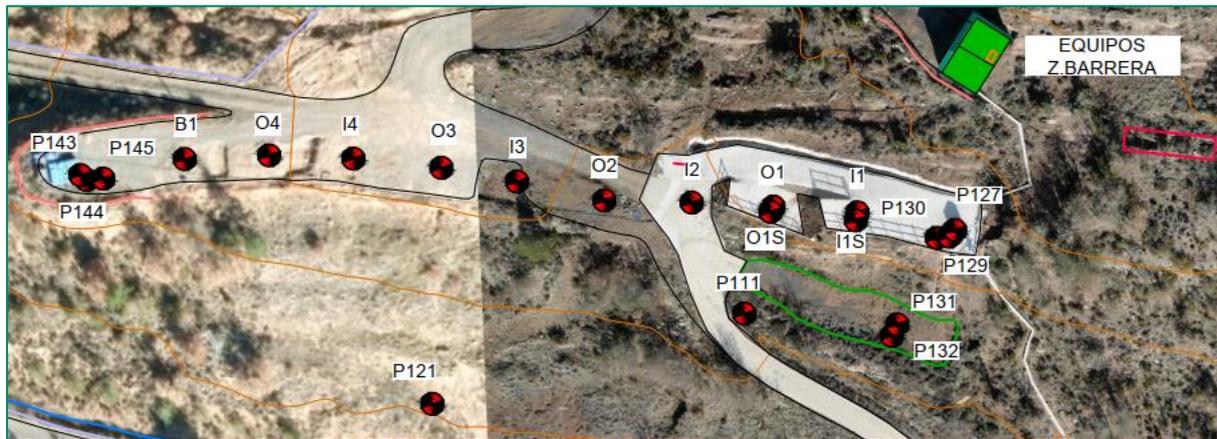
Los sondeos de la balsa de infiltración (BAL1 a BAL8) se han perforado junto al sondeo P196, en el Barranco Oeste del vaso, dentro de la superficie que ocupa la balsa construida en la plataforma existente en esta zona, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 15. Ubicación de la balsa donde se han perforado los sondeos



Los sondeos de la Zona de Barrera (I1S y O1S) se han perforado perpendicularmente a la dirección de la capa M junto a I1 y O1 respectivamente, tal y como se presenta en la figura a continuación.

Figura 16. Localización de los nuevos sondeos perforados en Zona de Barrera



Todos los sondeos se han perforado con batería doble de 116 mm de diámetro, con corona de diamante y recuperación de testigo continuo. En los sondeos I1S y O1S se reperforó un tramo inicial con batería de 131 mm para equipar con boquilla de acero y proteger el sondeo, evitando posibles desprendimientos además de permitir la instalación de una brida de metal en la que poder acoplar un cabezal del sistema de aireación para futuros ensayos.

Los sondeos en Zona de Barrera tuvieron una profundidad cercana a los 40 m y se decidió que no quedaran equipados como piezómetros, quedando la perforación directamente sobre la roca original.

Los sondeos del vaso no fueron equipados con tubería de revestimiento pero si con entubado ranurado a lo largo de toda la longitud del sondeo. Estos 8 sondeos fueron perforados hasta los 5 m aproximadamente para lograr el objetivo buscado en el ensayo que se realizará en ellos, el cual consiste en actuar sobre la zona vadosa del vaso y no sobre el acuífero por lo que era indispensable no llegar a cortar el nivel freático.

5.1.2 Testificación de sondeos

Los trabajos de perforación comenzaron el día 12 de julio con la perforación del sondeo BAL1 en el vaso desmantelado y finalizaron el 1 de agosto con la perforación del sondeo O1S junto al sondeo ya existente O1. A continuación se describe la litología atravesada en cada uno de los sondeos.

Sondeo BAL1

La perforación comenzó el día 12 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 14. Descripción litológica del sondeo BAL1

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,35	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,35	1,80	Conglomerado en matriz arenosa. Fracturas con rellenos arenosos y calcíticos.
1,80	5,00	Arenisca con microconglomerados y bioturbación. Fracturas verticales y subhorizontales con relleno de cemento y restos de DNAPL a 4,5 m.

Desde el inicio de la perforación y, tras pasar el relleno correspondiente a la plataforma, se puede observar como la litología predominante en toda la profundidad correspondía a conglomerados y areniscas de color marrón, lo que parece corroborar que se interceptó la capa M hasta el final de la perforación.

Las fracturas localizadas en este sondeo tienen apenas 2 mm de apertura, sin embargo, se localizó una fractura vertical a partir de los 2,2 m que presentaba restos de DNAPL junto a restos de cemento, seguramente del lavado de la plataforma hormigonada de la superficie. En la siguiente figura se muestra la fractura vertical con los restos de DNAPL.

Figura 17. Detalle de la fractura con DNAPL del sondeo BAL1 (2,2-5 m)



En ningún tramo de la perforación se produjo pérdida de agua debido a la escasa profundidad alcanzada y la baja densidad de fracturas localizadas. Cabe mencionar que parte del agua inyectada en la perforación evacuaba surgiendo por el talud de la plataforma inferior. Esto se repite en el resto de los sondeos ejecutados en el vaso en esta campaña.

Sondeo BAL2

La perforación de este sondeo comenzó el día 17 de julio y finalizó el mismo día alcanzando una profundidad total de 5,2 m. Los detalles de la litología atravesada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 15. Descripción litológica del sondeo BAL2

De (m)	A (m)	Litología
0,0	0,3	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,3	4,0	Arenisca con bioturbación. Fracturas subverticales en su mayoría.
4,0	5,2	Limolita roja con microconglomerados y bioturbación. Fractura vertical que la atraviesa y una subhorizontal con olor a HCH.

En este sondeo se interceptó el contacto entre la capa M y la limolita a unos 4 m. Las fracturas en su mayoría fueron verticales, aunque se cortó una fractura subhorizontal a 4,9 m que presentaba ligera afección.

Figura 18. Abundancia de fracturas verticales en el sondeo BAL2 (2,5-4,9 m)



Sondeo BAL3

La perforación comenzó el día 18 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 16. Descripción litológica del sondeo BAL3

De (m)	A (m)	Litología
0,0	0,5	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,5	5	Limolita roja con bioturbación y microconglomerados. Fracturas subhorizontales y hasta 60° rellenas de arena y lutitas.

Desde el inicio de la perforación y, tras pasar el relleno correspondiente a la plataforma, se puede observar como la litología predominante en toda la profundidad correspondía a limolitas de color rojizo hasta el final de la perforación.

Las fracturas localizadas en este sondeo llegaron hasta los 15 mm de espesor, desde verticales hasta horizontales. A unos 3 m se encontró una fractura de unos 15 mm de espesor y horizontal que podría ser una de las causantes de la escorrentía en el talud de la plataforma inferior.

Sondeo BAL4

La perforación comenzó el día 19 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5,1 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 17. Descripción litológica del sondeo BAL4

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,26	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,26	5,10	Limolita roja con microconglomerados y contacto limolita-conglomerado de 4 a 4,6 m. Fracturas de 80 a 0° con relleno arenoso y limoso.

Desde el inicio de la perforación y, tras pasar el relleno correspondiente a la plataforma, se puede observar como la litología predominante en toda la profundidad correspondía a limolitas de color rojizo hasta casi el final de la perforación, donde se corta el contacto con unos conglomerados.

Las fracturas localizadas en este sondeo llegan hasta los 5 mm de espesor. Las fracturas en torno a los 3 m aparentemente son bastante transmisivas a consecuencia de las surgencias observadas durante la perforación en el talud de la plataforma inferior.

Sondeo BAL5

La perforación comenzó el día 18 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5,2 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 18. Descripción litológica del sondeo BAL5

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,26	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,26	5,20	Limolita roja con bioturbación. Fracturas en su mayoría verticales y presencia de afección a 2 m en una fractura vertical.

Desde el inicio de la perforación y, tras pasar el relleno correspondiente a la plataforma, se puede observar como la litología predominante en toda la profundidad correspondía a limolitas de color rojizo hasta el final de la perforación.

Las fracturas localizadas en este sondeo llegan hasta los 5 mm de espesor. Una de las fracturas verticales que comienza a 1,1 m de profundidad presentó afección a partir de los 2 m.

Sondeo BAL6

La perforación comenzó el día 19 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5,1 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 19. Descripción litológica del sondeo BAL6

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,16	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,16	5,10	Limolita roja con bioturbación. Fracturas superficiales rellenas de lutitas, en profundidad pierden espesor.

La litología predominante a lo largo de todo el sondeo fue limolita, que en superficie presenta mayor densidad de fracturas y mayor apertura debido a la mayor facilidad de meteorización de este tipo de roca.

Sondeo BAL7

La perforación comenzó el día 20 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5,3 m. En la Tabla 20 se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 20. Descripción litológica del sondeo BAL7

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,24	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,24	5,30	Limolita roja con bioturbación. Zona fracturada a 4,1 m rellena de fragmentos de limolita. El resto de las fracturas en profundidad están rellenas de limos y arcillas.

La litología predominante a lo largo de todo el sondeo fue limolita. En profundidad, las fracturas se encontraron rellenas de limos y arcillas y a 4 m se observó una zona fracturada de limolita de 15 cm de espesor.

Sondeo BAL8

La perforación comenzó el día 20 de julio y finalizó el mismo día cuando se alcanzó la profundidad final de 5,1 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 21. Descripción litológica del sondeo BAL8

De (m)	A (m)	Litología
0,00	0,23	Hormigón y relleno de gravas (plataforma).
0,23	5,10	Limolita roja con bioturbación. Tramo fracturado entre 2,8 y 3 m.

La litología predominante a lo largo de todo el sondeo fue limolita, como en los sondeos anteriores. En torno a los 3 m se interceptó una zona fracturada rellena de limos arcillosos-arenosos, en una zona continua a lo largo de 20 cm.

Sondeo I1S

La perforación de este sondeo comenzó el día 21 de julio y finalizó el día 27 de julio alcanzando una profundidad total de 39,90 m. El nivel freático se alcanzó el día 26 de julio a la profundidad de 25,35 m. Los detalles de la litología atravesada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 22. Descripción litológica del sondeo I1S

De (m)	A (m)	Litología
0,0	0,9	Relleno de gravas con hormigón (plataforma).
0,9	11,2	Limolita roja con un tramo más superficial meteorizado y en profundidad ganando consistencia. Restos de bioturbación y tramo en contacto con la arenisca de 8,8 a 9,4 m de profundidad. Muy fracturado en los primeros metros por meteorización y en profundidad dos grandes fracturas verticales.
11,2	17,5	Arenisca grisácea con dos tramos en contacto subvertical con limolita de 14,2 a 14,9 m y de 16,3 a 17,5 m. A 11,8 m pérdida de agua por fractura de fuerte conexión.

De (m)	A (m)	Litología
17,5	29,2	Limolita roja con bioturbación e inclusiones de arenisca. Fracturas de pequeña entidad a lo largo de todo el tramo.
29,2	39,9	Arenisca grisácea con fracturas subhorizontales a 30° de buzamiento.

En el sondeo I1S se observa un registro muy similar al obtenido en su sondeo gemelo (I1). En este sector la capa M parece reducir su potencia e interdigitarse con la limolita. En esta perforación se ha cortado en sucesivos tramos el contacto entre la limolita y la arenisca, si bien en alguno de ellos el contacto era algo difuso.

El número de fracturas de este sondeo es la mitad de las cortadas en I1 y más superficiales. No obstante, a los 11,8 m se produjo un 100% de pérdida de agua a través de una fractura vertical, aunque posteriormente al volver a cortar la limolita a 17,5 m dejó de haber conexión. En la siguiente figura se ve la fractura causante de la pérdida de agua.

Figura 19. Detalle de la fractura con alta conexión en el sondeo I1S (11,9-12 m)



En este sondeo no se han detectado signos de afección en ningún tramo.

Sondeo O1S

La perforación de este sondeo comenzó el día 27 de julio y finalizó el día 1 de agosto alcanzando una profundidad total de 43,30 m. El nivel freático se alcanzó el día 31 de julio a la profundidad de 24 m.

Los detalles de la litología atravesada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 23. Descripción litológica del sondeo O1S

De (m)	A (m)	Litología
0,0	2,3	Relleno de gravas, limos, bolos y hormigón (plataforma).
2,3	18,1	Limolitas rojas con bioturbación y con un tramo alterado de 2,3 a 2,5 y otro con presencia de areniscas que van ganando entidad en profundidad hasta llegar a la arenisca. Fracturas de pequeño espesor (de 5 mm la de mayor).
18,1	19,4	Arenisca gris con fracturas de 0 a 45° y espesores inferiores a 3 mm.
19,4	27,8	Limolita roja con arenisca de 19,4 a 21,9 m con microconglomerados de 21,9 a 22,7 m. La densidad de fracturas en este tramo es muy baja.
27,8	40,3	Arenisca grisácea con algún fragmento de limolita. Fracturas de 30,1 a 32 m con manchas negras producto de la degradación del poliuretano de piezómetros aguas arriba.

El número de fracturas contabilizadas en este sondeo es de 60, las cuales en su mayoría son horizontales o con un buzamiento de 20°. El espesor máximo de estas fracturas es de 10 mm. Como se ha mencionado en la tabla anterior, de 30,1 a 32 m de profundidad se identifican múltiples fracturas de inclinación variable y espesores máximos de 5 mm donde se aprecian trazas de color negro que puede provenir del P129 donde el entubado de poliuretano se está degradando (ver siguiente figura).

Figura 20. Detalle de la fractura con las manchas negras (30,1-32 m)



En este sondeo no se han detectado signos de afección en ningún tramo.

5.1.3 Seguimiento hidrogeológico de los nuevos sondeos en Zona de Barrera

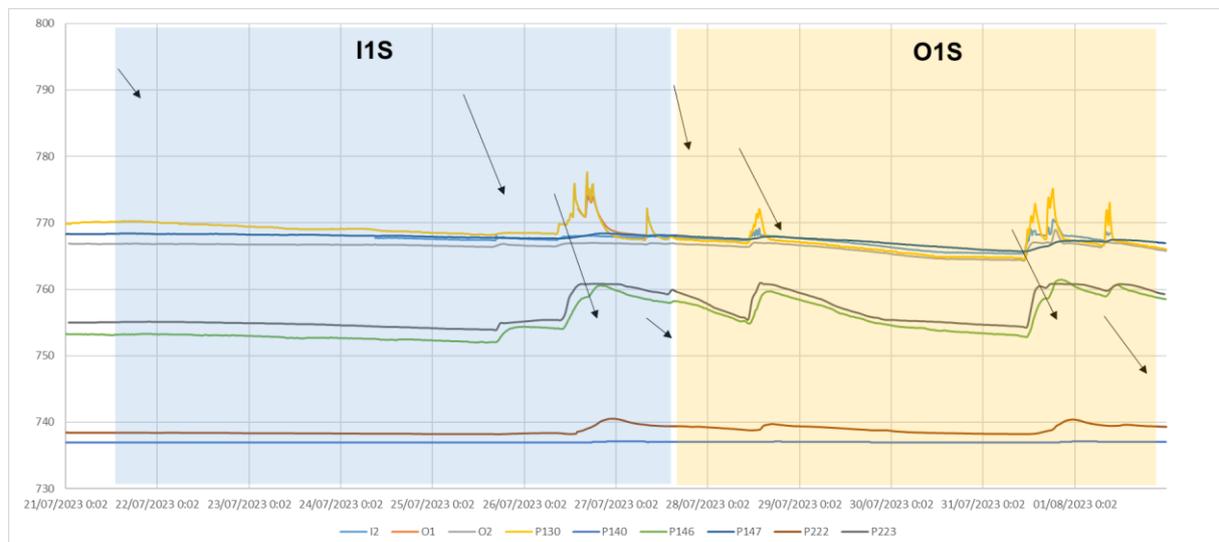
Con el objetivo de corroborar si los nuevos sondeos perforados en Zona de Barrera pudieron captar una mayor extensión de la capa M y mejorar el grado de conexión con la red de fracturación principal, se llevaron a cabo varias tareas complementarias.

Por un lado, dado que para la ejecución de los sondeos es necesario inyectar agua, se monitorizaron los niveles de agua subterránea en varios piezómetros situados aguas arriba y abajo de las perforaciones mediante dispositivos de medición en continuo. Por otro lado, una vez se finalizaron los trabajos de perforación y se estabilizaron los niveles de agua, se procedió a tomar una muestra de cada sondeo para su análisis en el laboratorio de la depuradora.

Seguimiento de niveles

En la gráfica a continuación se muestra la evolución de los niveles de agua registrados en los sondeos I2, O1, O2, P130 y P143 (en Zona de Barrera), P146, P147 y P223 (en Barranco 4), y P222 y P140 (aguas abajo Barranco 4 y Zona de Descarga respectivamente). Nótese que se ha representado el avance de la profundidad de perforación cada día mediante flechas (I1S cuadro azul de la izquierda, O1S cuadro amarillo de la derecha).

Gráfica 34. Evolución de niveles de agua de los sondeos de control seleccionados durante la perforación de los nuevos sondeos I1S y O1S



De la evolución de los niveles de agua pueden extraerse las siguientes apreciaciones:

- Durante la perforación de I1S, no se empiezan a notar variaciones importantes hasta el día 26 de julio, cuando se cortó el nivel freático a la cota de 767 msnm aproximadamente. Antes de eso, se observa una respuesta a la inyección, más marcada en los sondeos P146 y P223 del Barranco 4, una vez se cortó una fractura vertical situada en el primer tramo de arenisca del sondeo, a unos 11,8 m de profundidad y que provocó una pérdida de agua del 100%.
- A partir de entonces, una vez se alcanzó el nivel freático, los sondeos P130 y O2 (situados inmediatamente aguas arriba y abajo de I1S respectivamente en Zona de Barrera) y P146 y P223, situados en el Barranco 4, son los que tuvieron una mayor reacción a las inyecciones, con aumentos de entre 6 m (sondeos Barranco 4) y 9 m (sondeos Zona Barrera). En ambos casos, la respuesta es más o menos simultánea (unos 30 minutos de retraso aguas abajo).
- Lo mismo ocurrió con O1S; siendo los mismos sondeos los que respondieron a la inyección del agua de la perforación, con una amplitud más o menos similar. Si bien, el tramo de arenisca entre los 18 y 19 m produjo ya una conexión con los sondeos de alrededor en capa M antes de alcanzar el nivel freático.
- Otros sondeos de la Zona de Barrera como I2 y O2 apenas mostraron influencia de la perforación de I1S, si bien si tuvieron algo más de respuesta durante la perforación de O1S, ya que se encuentra en un punto más cercano. Estos sondeos tienen una conexión más limitada con la capa M, lo que se refleja en esta evolución.
- En el caso de los sondeos más alejados, en P222 (aguas abajo Barranco 4) se observa la respuesta más amortiguada que tarda entre 4 y 5 horas en notarse. Por su parte, en P140 (Zona de Descarga) no se ha detectado influencia de la inyección del agua de la perforación en la evolución de niveles.

Concentración de contaminantes

Una vez estabilizado el nivel freático en los sondeos, el día 8 de agosto se procedió a realizar un muestreo de control con el objetivo de ver las concentraciones presentes en el agua subterránea. En las siguientes tablas se presentan los valores de los parámetros físico-químicos medidos en el muestreo y los resultados analíticos obtenidos.

Tabla 24. Parámetros físico-químicos (8 agosto 2023)

Sondeo	Profundidad muestreo (m)	Nivel (m)	pH	Conductividad (µS/cm)	Potencial redox (mV)	Oxígeno disuelto (mg/l)
I1S	35	31,97	7,26	1.536	52	2,12
O1S	35	29,77	7,32	1.906	-79	0,00

Tabla 25. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total (8 agosto 2023)

Sondeo	Profundidad muestreo (m)	Benceno (µg/l)	Monoclorobenceno (µg/l)	HCH total (µg/l)
I1S	35	5.762	12.679	5.231
O1S	35	5.753	18.172	4.525

Tal y como se observa, tanto los parámetros físico-químicos como las concentraciones de los principales contaminantes indican que se ha conseguido cortar la capa M en estos sondeos, demostrando una buena conexión con el resto de sondeos ubicados en capa.

5.2 Sondeos capa M Zona 0

Entre el día 17 de octubre y el 7 de noviembre se llevó a cabo la perforación de 4 nuevos sondeos en capa M en la Zona 0. Estos sondeos se efectuaron con el objetivo de interceptar la red de fracturación principal en capa M entre los sondeos P49 y P174, con potencial para albergar fase libre residual y para conocer la distribución litológica y de fracturación en esta zona, donde la información es limitada.

Esto es debido principalmente a que los sondeos más próximos situados aguas arriba, P49 y P52, no se dispone de testificación de fracturas y la litología descrita durante su perforación (año 2005) es cuestionable, ya que el comportamiento de ambos sondeos no concuerda con su potencial ubicación en capa M.

Además, en 2024 se prevé la realización de un ensayo de inyección de oxidantes y surfactantes similar el ejecutado para el proyecto LIFE en 2022 en esta zona de foco, por lo que se considera fundamental contar con el mayor número de puntos de monitorización y actuación para establecer el mayor control posible durante el ensayo.

Para la ejecución de estos sondeos fueron necesarias actuaciones previas para abrir accesos y la construcción de dos plataformas. Una de las plataformas se dismanteló al finalizar las perforaciones. Así mismo, de manera previa al inicio de las perforaciones se realizaron tareas de conexión para el suministro de agua, instalación de tuberías y suministro eléctrico.

Por último, a modo de control, se instalaron sensores de medición del nivel piezométrico en continuo para la monitorización en tiempo real de los niveles del acuífero en zonas tanto de aguas abajo como de aguas arriba de la ubicación de los nuevos sondeos con el fin de establecer conclusiones acerca de la conexión hidráulica de los nuevos sondeos con el resto de puntos ubicados en las proximidades. En concreto, se monitorizaron los sondeos P49 y P52 en Zona 0, y P27, P54 y P79 en Barranco 3.

5.2.1 Ubicación y características de los sondeos

Los sondeos planificados en esta campaña se perforaron en la Zona 0, entre los sondeos P49 y P174, tal y como se muestra en la siguiente figura.

Figura 21. Localización de los nuevos sondeos de investigación en Zona 0



Todos los sondeos se han perforado con batería doble de 116 mm de diámetro, con corona de diamante y recuperación de testigo continuo. En los cuatro sondeos se ha reperforado un tramo inicial con batería de 131 mm para equipar con boquilla de acero y proteger el sondeo, evitando posibles desprendimientos.

Las perforaciones tuvieron una profundidad cercana a los 40 m y se decidió no instalar tubería piezométrica, quedando la perforación directamente sobre la roca.

5.2.2 Testificación de sondeos

Los trabajos de perforación comenzaron el día 17 de octubre con la perforación del sondeo P224 y finalizaron el 7 de noviembre con la perforación del sondeo P227. A continuación, se describe la litología atravesada en cada uno de los sondeos.

Sondeo P224

La perforación comenzó el día 17 de octubre y finalizó el día 20 del mismo mes cuando a la profundidad de 40,2 m. El nivel freático se cortó a los 19,9 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 26. Descripción litológica del sondeo P224

De (m)	A (m)	Litología
0,0	1,8	Arenas, gravas y bolos de relleno (plataforma).
1,8	22,3	Arenisca. Fracturas subhorizontales con afección e iridiscencias.
22,3	32,6	Areniscas y limolitas interdigitadas y en contactos subverticales. Fracturas subhorizontales con fuerte afección y gotículas de DNAPL.
32,6	40,2	Limolita roja masiva.

Desde el inicio de la perforación y, tras pasar el relleno correspondiente a la plataforma, se interceptó la capa M hasta los 22,3 m, y a continuación se atravesó una zona de transición entre arenisca y limolita hasta los 32,6 m, profundidad a partir de la cual se encontraba la limolita roja masiva.

Las fracturas localizadas en este sondeo son en su mayoría de apenas 3 mm de apertura, aunque muchas de ellas presentaron signos de afección (fuerte olor y restos de DNAPL en forma de gotículas e iridiscencias en el tramo de contacto entre la arenisca y la limolita).

Tras pasar el tramo de materiales de relleno, y cortar la capa M, se produjo la pérdida total del agua inyectada para la perforación, lo que muestra una fuerte conexión hidráulica. Esto se ha repetido con el resto de sondeos a la altura correspondiente en cada punto.

Sondeo P225

La perforación de este sondeo comenzó el día 23 de octubre y finalizó el 26 del mismo mes alcanzando una profundidad total de 40,1 m. El nivel freático se cortó a los 14,92 m. Los detalles de la litología atravesada se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 27. Descripción litológica del sondeo P225

De (m)	A (m)	Litología
0,0	3,8	Zahorra, hormigón y arenas y bolos de relleno de la plataforma.
3,8	24,1	Arenisca. Fracturas subverticales a horizontales con signos de afección a 19,8 m.
24,1	29,4	Contacto arenisca y limolita. Fracturas horizontales con signos de afección por DNAPL.
29,4	40,1	Limolita roja masiva.

En este sondeo se interceptó la capa M entre los 3,8 y los 24,1 m, donde, tras unos metros de transición, se detectó el techo de la limolita roja masiva a los 29,4 m. Las fracturas registradas en su mayoría son horizontales, con claros signos de afección entre los 20 y 25 m.

Figura 22. Detalle de la fractura en P225 con restos de DNAPL (25,6 m)



Sondeo P226

La perforación comenzó el día 26 de octubre y finalizó el 2 de noviembre cuando se alcanzó la profundidad final de 40,1 m. El nivel freático se cortó a los 15,15 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 28. Descripción litológica del sondeo P226

De (m)	A (m)	Litología
0,0	2,4	Zahorra, gravas y limos de relleno (plataforma).
2,4	7,4	Zona de contacto entre conglomerados, arenisca y algún tramo de limolita roja. Los contactos son subverticales (85°).
7,4	26,7	Arenisca. Fracturas horizontales con afección en buena parte de ellas a partir de los 11,4 m.
26,7	29,5	Contacto arenisca y limolita roja con bioturbación.
29,5	40,1	Limolita masiva roja.

Este sondeo sigue el patrón de los anteriores, aunque hay que resaltar que se interceptó una zona heterogénea a techo de la capa M compuesta por conglomerados e interdigitaciones de limolita, pero sin signos de afección.

Las fracturas presentaron algo de afección a partir de los 11,4 m, que es cuando se comenzaron a extraer maniobras con iridiscencias en el agua de la perforación. En su mayoría, las fracturas son de escasa apertura y las más amplias se encuentran cementadas.

Sondeo P227

La perforación comenzó el día 3 de noviembre y finalizó el día 7 al alcanzar los 40,1 m de profundidad. El nivel freático se cortó a los 14 m. En la siguiente tabla se detalla la litología atravesada en este sondeo.

Tabla 29. Descripción litológica del sondeo P227

De (m)	A (m)	Litología
0,0	1,6	Relleno de arcillas, arenas y cantos.
1,6	5,5	Limolita con inclusiones de arenisca y restos de bioturbación.
5,5	27,6	Arenisca gris, con presencia de un tramo entre los 9,1 y 11,5 m de cemento. Tramo fracturado a 10,5 m con signos de afección. Fracturas de escaso espesor pero con restos de DNAPL a 22 m.
27,6	35,5	Contacto limolita y arenisca e interdigitaciones entre ambas litologías.
35,5	40,1	Limolita roja masiva.

Tras atravesar los primeros metros del sondeo, con relleno y limolita, se alcanzó la capa M entre los 5,5 y los 27,6 m de profundidad. En este tramo de arenisca se encontraron fracturas con DNAPL, confirmándose la acumulación de gotículas al final de la maniobra. La pérdida total de agua de la perforación se produjo a los 18,1 m de profundidad.

En la siguiente figura se puede ver una fractura a 22 m impregnada de DNAPL de 8 mm de apertura.

Figura 23. Detalle de la fractura en P227 con restos de DNAPL (22 m)

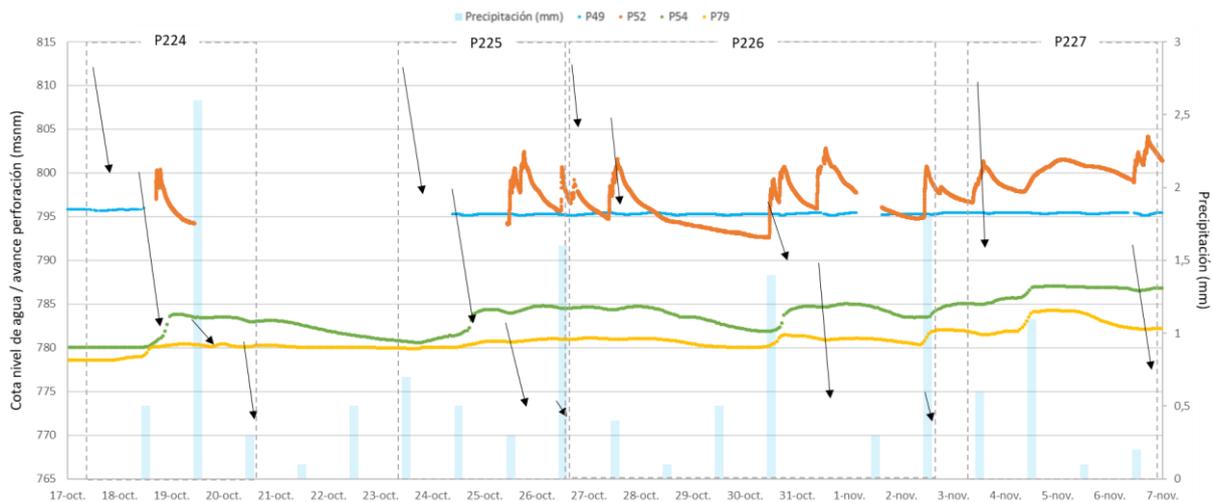


5.2.3 Seguimiento hidrogeológico de los nuevos sondeos en Zona 0

Seguimiento de niveles

En la gráfica a continuación se puede observar la evolución de los niveles en los piezómetros de control a medida que se realizaban las perforaciones.

Gráfica 35. Evolución de los niveles piezométricos de los sondeos de control seleccionados durante la perforación de los nuevos sondeos en Zona 0



Para su aclaración, en la gráfica se muestran los siguientes aspectos: a) la evolución de niveles de los sondeos P49 y P52 de la Zona 0, y P54 y P79 del Barranco 3 (líneas de color naranja, azul, verde y amarilla); b) la precipitación registrada cada 10 minutos (columnas azules); c) el avance de la perforación diaria en profundidad para cada sondeo (flechas negras).

Cabe destacar que alguno de los días, por fallo en los dispositivos de medición, no se pudieron descargar todos los datos de nivel en continuo de P49 y P52.

Según se observa en la evolución de los niveles, se pueden indicar las siguientes apreciaciones:

- El sondeo P49 no muestra ninguna respuesta, ni a la perforación ni a las precipitaciones, lo que demuestra una desconexión total con la capa M.

- El sondeo P52 parece responder a las inyecciones de agua durante las perforaciones, si bien se hace difícil establecer una correlación precisa debido a la coincidencia con los eventos de precipitación registrados durante prácticamente todos los días. De este modo, parece clara la influencia de la perforación del sondeo P226 durante el día 1 de noviembre, porque ese día no se produjeron precipitaciones, al cortar el tramo de arenisca de la capa M situado entre los 804 y los 785 msnm.

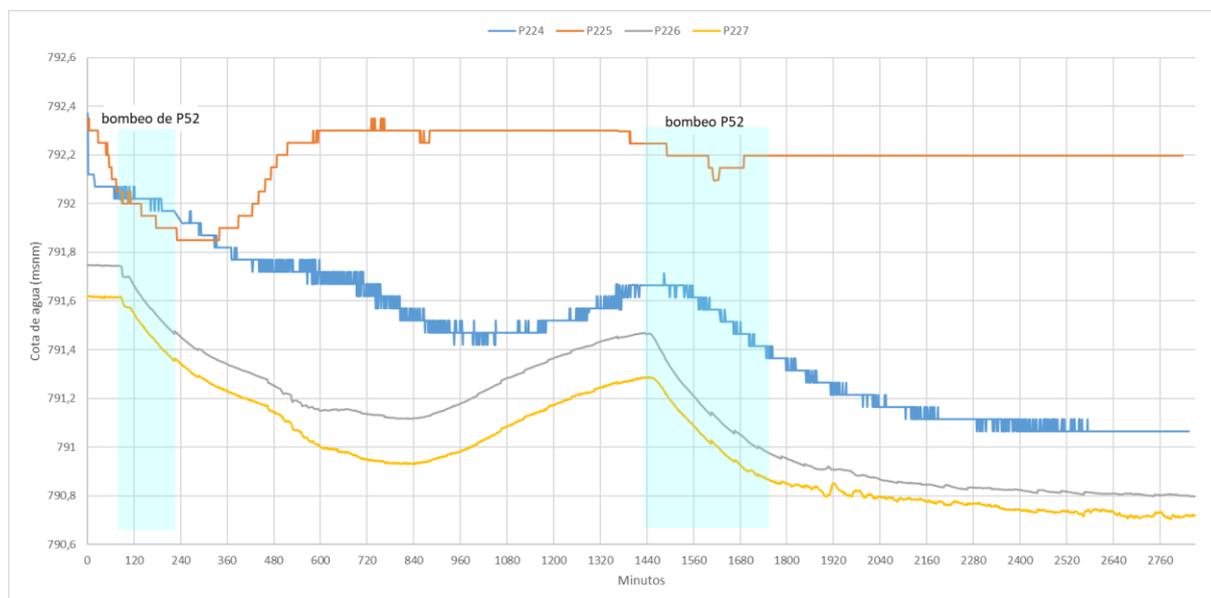
Por otro lado, de acuerdo a la respuesta de los niveles en P52 durante las precipitaciones del día 4 de noviembre (curva más tendida), podría interpretarse que las inyecciones de agua para la perforación de los sondeos provocan unos ascensos más abruptos, lo que podría apreciarse como una doble influencia de ambos procesos durante todos los días que duraron los trabajos de perforación.

- De los sondeos situados aguas abajo en el Barranco 3, P54 y P79, P79 únicamente parece responder a los eventos de precipitación. En cambio, en P54 se registran aumentos de nivel durante la perforación de P224 (alrededor de las cotas 790 y 783 msnm, al cortar el tramo de arenisca y parte de la transición de arenisca a limolita), P225 más o menos a las mismas cotas, y P226 entre los 794 y 790 msnm. Durante la perforación de P227 en cambio, no parece apreciarse ninguna influencia, o al menos no tan notable.

De acuerdo a intentar conocer de forma un poco más detallada la posible conexión de los nuevos sondeos con P52, aprovechando la realización de dos bombeos en este sondeo los días 28 y 29 de noviembre, se monitorizó la evolución de niveles en continuo de los cuatro nuevos sondeos durante la duración de los mismos. El bombeo del día 28 se mantuvo entre las 11 y las 13 h, y el del día 29 entre las 9:15 y las 14:00.

En la gráfica a continuación se presenta la evolución de los niveles registrada.

Gráfica 36. Evolución niveles sondeos nuevos durante el bombeo en P52



Según se observa, el sondeo P225 respondió a los bombeos de forma más marcada en el primer evento del día 28, aunque el descenso máximo registrado fue de apenas 60 cm, y a continuación se recuperó rápidamente.

Por su parte, los sondeos P224, P226 y P227 también respondieron a los eventos de bombeo, en este caso, con descensos menos marcados y más paulatinos, pero también entre los 60 cm y los 70 cm, si bien continuaron disminuyendo horas más tarde del fin de los bombeos; y en ausencia de precipitaciones, tras el segundo bombeo el nivel se acabó estabilizando sin recuperarse.

De este modo, se observa cierta conexión entre estos sondeos, si bien es muy limitada.

Concentración de contaminantes

Un par de semanas más tarde después de finalizar los trabajos de perforación de los sondeos, el día 22 de noviembre se tomó una muestra del agua subterránea de cada punto y se midieron los parámetros físico-químicos antes de la toma. En las siguientes tablas se presentan los valores de los parámetros físico-químicos y los resultados analíticos obtenidos.

Tabla 30. Parámetros físico-químicos nuevos sondeos Zona 0

Sondeo	Profundidad muestreo (m)	Nivel (m)	pH	Conductividad (μS/cm)	Potencial redox (mV)	Oxígeno disuelto (mg/l)
P224	30	19,00	7,09	1.356	-61	2,08
P225	30	19,04	6,82	1.292	-9	2,30
P226	30	19,07	6,90	1.345	-82	1,95
P227	28	17,73	6,83	1.348	-92	3,65

Tabla 31. Concentración contaminantes principales nuevos sondeos Zona 0

Sondeo	Profundidad muestreo (m)	Benceno (μg/l)	Monoclorobenceno (μg/l)	HCH total (μg/l)
P224	30	6.388	36.125	9.618
P225	30	7.498	49.715	11.178
P226	30	4.333	33.712	9.658
P227	28	7.930	53.729	8.192

Tal y como se observa en las tablas, todos los valores obtenidos en el muestreo se encuentran en el rango observado para los sondeos de la capa M en esta zona del emplazamiento. Las concentraciones son elevadas y similares en todos los puntos, lo que demuestra su conexión con el resto de capa, y concuerda con las apreciaciones organolépticas y visuales detectadas durante la perforación.

5.3 Nivelación topográfica

Una vez terminadas las campañas de perforación, se realizó una campaña de topografía para dar coordenadas a los nuevos puntos. Estos datos fueron incluidos en la BBDD del emplazamiento.

Tabla 32. Coordenadas UTM ETRS89 y profundidades de los nuevos sondeos

Sondeo	X	Y	Z (msnm)	Profundidad (m)
P224	716772,49	4707265,54	812,29	40,20
P225	716769,95	4707265,72	812,13	40,10
P226	716768,79	4707268,16	812,12	40,10
P227	716762,25	4707269,29	810,64	40,10
BAL1	716830,573	4707242,169	819,391	5
BAL2	716831,779	4707241,461	819,409	5,2
BAL3	716831,315	4707243,418	819,383	5
BAL4	716832,424	4707242,736	819,388	5,1
BAL5	716832,14	4707244,695	819,38	5,2
BAL6	716833,291	4707244,041	819,337	5,1
BAL7	716832,996	4707246,146	819,354	5,3
BAL8	716834,099	4707245,521	819,281	5,1
I1S	716521,071	4707375,383	793,103	39,9
O1S	716511,197	4707380,152	790,83	40,3

6. Muestreadores pasivos de flujo

6.1 Introducción

Desde 2014, se han realizado estudios detallados de la Descarga de Masa de la capa M hacia el río Gállego en distintos transectos de control definidos en diferentes zonas del emplazamiento. La metodología empleada para tal propósito se ha basado en el uso de muestreadores pasivos de flujo, que permite realizar una estimación precisa de la masa contaminante que circula por las fracturas en dirección hacia zonas de aguas abajo.

En este sentido, en los últimos años los estudios de la descarga de masa se han centrado en la Zona de Descarga por la relevancia de esta zona para evaluar la afección que el acuífero puede descargar al río Gállego. En concreto, se ha empleado como transecto de control el formado por los sondeos P140, P141 y P142 que, además de estimar la masa que circula al año en esa zona de la capa M, permite realizar un balance de masas con el río Gállego. Estos estudios detallados de la descarga al río Gállego se han realizado los años 2015, 2016, 2017, 2019, 2021 y 2023 con muestreadores pasivos de flujo (PFM, del inglés *Passive Flux Meters*).

En 2023, se han efectuado dos campañas de determinación de la descarga de masa en la Zona de Descarga. En primer lugar, en enero de 2023 se llevó a cabo una campaña de muestreo usando una marca comercial de muestreadores, iFlux, con sede en Europa. Su objetivo, además de determinar la descarga de masa en época de aguas altas, era probar unos nuevos dispositivos, que además de facilitar la logística del ensayo (envíos dentro de Europa), permitían unificar la parte analítica en un mismo laboratorio, debido a que con los PFM de Enviroflux (proveedor de Estados Unidos), el HCH debe ser analizado en otro laboratorio, duplicando costes de envío de muestras, integración de resultados, etc.

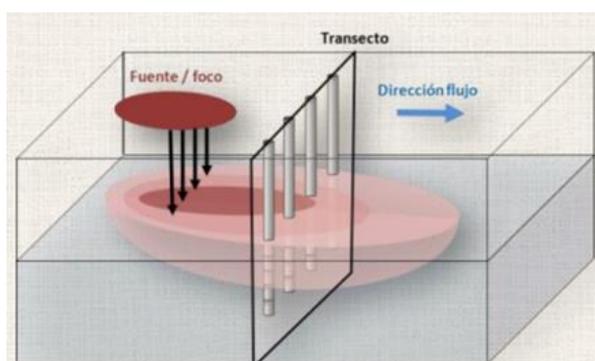
Por otro lado, se planteó llevar a cabo otra campaña de PFM con el proveedor habitual Enviroflux en octubre de 2023, con el objetivo adicional de evaluar el posible efecto de la inyección de volúmenes de agua durante la realización del ensayo de trazadores en la balsa de infiltración en el vaso realizada ese mes, ya que, históricamente, se ha observado cómo la ejecución de actuaciones en el foco puede tener repercusión en un aumento del flujo de masa hacia aguas abajo, al facilitar el lavado de fracturas y aumentar el empuje de agua con alta carga contaminante.

No obstante, debido a una imprudencia de la empresa transportista, se perdieron las muestras que iban para el laboratorio de análisis Enviroflux tras la campaña de instalación de los muestreadores pasivos de flujo. De este modo, tuvo que realizarse una segunda campaña de instalación de PFM en noviembre de 2023, aprovechando la época de aguas altas.

6.2 Conceptos de flujo y descarga de masa

Para determinar la cantidad de masa contaminante que se mueve a través del flujo de agua subterránea que circula por las fracturas en primer lugar se debe calcular el flujo de masa (J). El flujo de masa se define como la masa de un compuesto que pasa a través de un plano perpendicular (transecto) a la dirección de flujo (por ejemplo, a través de una fractura) por unidad de tiempo y área (por ejemplo, g/m²/día).

Figura 24. Esquema de un transecto perpendicular a la dirección de flujo



El flujo de masa determina la cantidad de contaminante que se mueve en el agua subterránea en función de su velocidad. El flujo de masa determina la cantidad de contaminante que se mueve en el agua subterránea en función de la velocidad de la misma y, por tanto, para su cálculo se requieren medidas de las concentraciones y de las velocidades de flujo. Matemáticamente se puede calcular según lo expresado en la [Ecuación 1](#):

$$J = q_0 \times C = K \times i \times C$$

Ecuación 1

Donde:

J, es el flujo de masa [M/L²/t].

q₀, es el flujo de agua subterránea, o caudal de descarga específica del acuífero [L/t].

C, es la concentración de la masa contaminante en el agua, [M/L³].

K, es la conductividad hidráulica, [L/t].

i, es el gradiente hidráulico (adimensional).

El flujo de masa varía temporal y espacialmente a lo largo del plano de control, debido a cambios en la concentración de contaminantes y en el flujo de agua subterránea, tanto en magnitud como en dirección:

- En época de aguas altas, el flujo de masa aumenta debido principalmente al aumento de la velocidad de flujo. Por tanto, el flujo de masa es mayor a mayor carga hidráulica del acuífero.
- La infiltración (natural) que se produce en la zona de foco, permite una mayor movilidad de los contaminantes, que migran aguas abajo a través de la compleja red de fracturación. No obstante, no se trata de un flujo pistón lineal en el que el agua se mueve progresivamente a igual velocidad por todas las fracturas, por lo que el efecto en la Zona de Descarga tardará en manifestarse entre días y semanas en función de las condiciones.
- Los diferentes mecanismos de transporte de los contaminantes en el agua subterránea (advección, dispersión, difusión, sorción...), y el grado de conectividad hidráulica condicionan tanto la concentración de contaminantes observada en los sondeos como su movilidad.
- En época de aguas bajas, en ausencia de precipitaciones prolongadas, los gradientes hidráulicos disminuyen y, por tanto, la velocidad de flujo también. Si las concentraciones no varían significativamente, el flujo de masa disminuye.

Teniendo en cuenta estas consideraciones y una vez calculado el flujo de masa, se puede estimar Descarga de Masa (M_d), que es la masa total de contaminante que circula por una determinada zona (transecto). La descarga de masa puede expresarse, por ejemplo, en unidades de g/día y su cálculo se puede llevar a cabo según lo expresado en la [Ecuación 2](#).

$$M_d = \int_A J_d \times A$$

Ecuación 2

Donde:

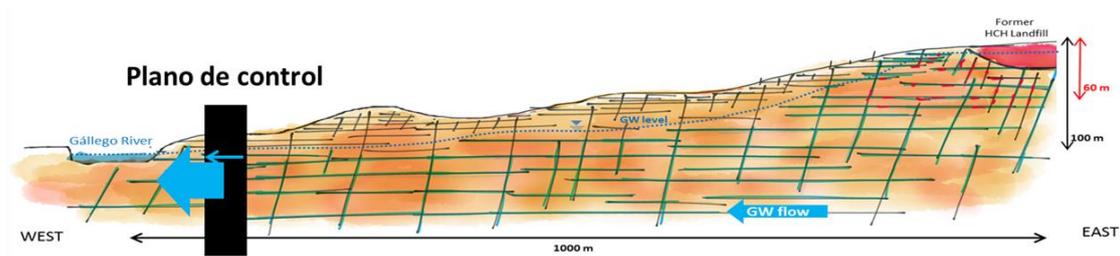
M_d, es la descarga de masa [M/t].

A, es el área del plano de control, [L²].

J, es flujo de masa contaminante, definido en la ecuación anterior, [M/t/L²].

En la siguiente figura se representa el concepto de descarga de masa de manera esquemática en un corte de la capa M para el transecto de la Zona de Descarga formado por los sondeos P140, P141 y P142.

Figura 25. Esquema conceptual del transecto de control de la Zona de Descarga



6.3 Metodología

Los muestreadores pasivos de flujo permiten medir directamente el flujo de masa en los sondeos, al estar diseñados para determinar tanto la concentración de contaminantes en el agua subterránea como la velocidad del flujo. Tanto los muestreadores de Enviroflux como los de iFlux se componen de una mezcla de carbón activo, que retiene los contaminantes, y una serie de alcoholes que actúan como trazadores, a fin de estimar las velocidades de flujo en función de los coeficientes de solubilidad de cada uno de ellos.

La única diferencia entre ellos reside en su construcción. Cada muestreador iFlux mide de 40 cm, y está formado por dos secciones o cartuchos de 20 cm, el primero permite evaluar el flujo y el segundo determinar la concentración de contaminantes. En el caso de los PFM, cada dispositivo tiene una longitud total de 1,5 m, y se divide en 4 secciones.

Ambos muestreadores pueden permanecer alrededor de 10-15 días en los sondeos, en función de la velocidad del flujo de agua estimada.

Figura 26. Instalación iFlux



Figura 27. Instalación PFM

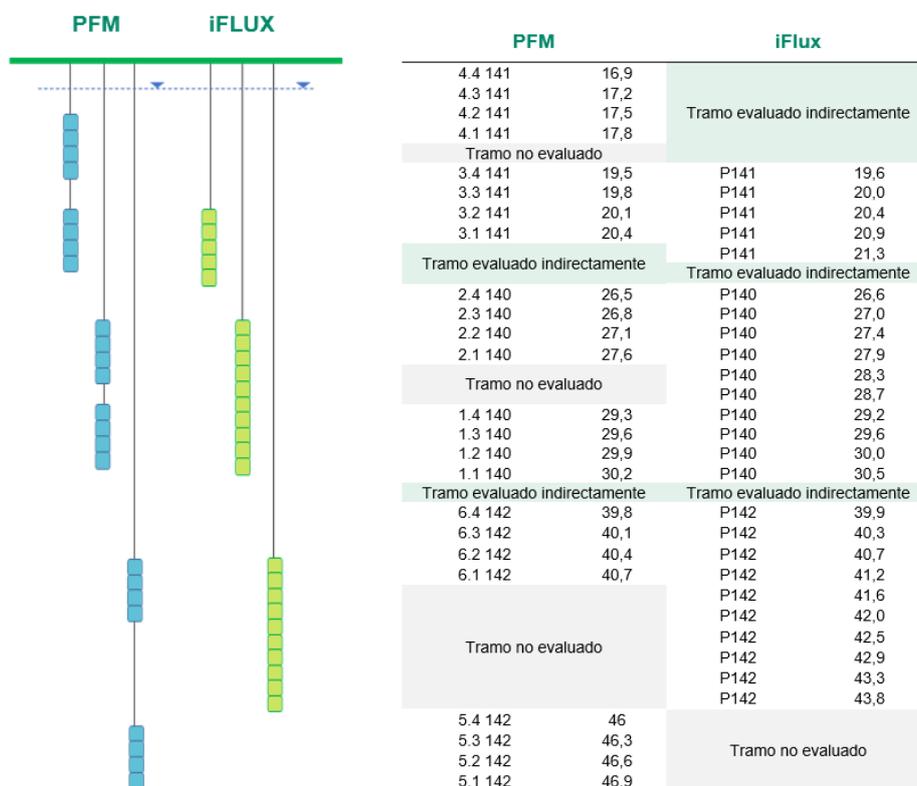


6.4 Aplicación de los muestreadores pasivos de flujo en la Zona de Descarga

Los muestreadores pasivos se instalaron enfrentados a las principales fracturas identificadas en las zonas de fracturación preferente de los sondeos P140, P141 y P142, abarcando la mayor longitud posible dentro del tramo ranurado de los sondeos; es decir, en aquellas zonas en las que se ha evidenciado, a partir de los estudios de fracturación detallados, una mayor circulación de masa contaminante.

Al tener diferentes longitudes, la configuración de instalación de los muestreadores varió ligeramente entre las dos campañas, pero se intentó mantener las secciones de fracturación preferente bien monitorizadas.

Figura 28. Esquema comparativo de instalación de los PFM y iFlux y de los tramos evaluados



Para la campaña de iFlux se equiparon un total de 25 muestreadores en los sondeos (5 en P141, 10 en P140 y 10 en P142) mientras que para la de PFM se usaron 6 dispositivos (2 por sondeo). Además, en la campaña de iFlux se proporcionaron dos cartuchos de flujo de agua para evaluar el efecto de la instalación y la recuperación únicamente en el contenido del trazador, también para la calibración de los muestreadores más profundos, instalados en el P140 (a 30,4 m) y el P142 (a 43,7 mm).

Debido a que los tramos saturados de los sondeos de la Zona de Descarga tienen una longitud considerable, donde no se pudo colocar un muestreador pasivo se han efectuado una serie de asunciones conservadoras basadas en las observaciones de campo y en los estudios de detalle llevados a cabo en el emplazamiento (litología, fracturación, etc.). Así, se han tenido en cuenta los siguientes aspectos conservadores para definir los parámetros del sistema con influencia en el cálculo de la descarga de masa:

- **Espesor de capa:** para el espesor de capa M se utilizó un valor medio de 3 m, aunque en la Zona de Descarga este espesor se estima inferior.
- **Espesor de fractura:** de las fracturas identificadas en el tramo saturado de los sondeos de la Zona de Descarga, un 63% tiene un espesor máximo de 1 mm, un 23% tiene un espesor máximo de 2 mm, un 8% tiene un espesor máximo de <1 mm, un 4% tiene un espesor máximo de 3 mm, y solo un 2% tiene un espesor máximo de 10 mm.

No obstante, con objeto de obtener un rango de valores conservador, se emplearon dos valores de espesor de fractura para los cálculos: un valor mínimo de 4 mm y un valor máximo de 10 mm; que se atribuyeron a todas las fracturas en cada supuesto.

De este modo, los rangos de valores para la descarga de masa se calcularon en función del área en cada supuesto:

- Valor mínimo: espesor de capa M de 3 m y espesor de fractura de 0,004 m = 0,012 m².
 - Valor máximo: espesor de capa M de 3 m y espesor de fractura de 0,01 m = 0,03 m².
- **Espacios sin muestreador**: en aquellos tramos donde no se pudieron colocar muestreadores y, por tanto, no se pudo estimar el flujo de masa directamente, se ha aplicado el valor promedio de los flujos de masa de las fracturas existentes por encima y por debajo de cada tramo medido con un muestreador. De este modo, se realiza una estimación conservadora del Flujo de Masa para cada una de las fracturas existentes en la roca asumiendo que todas tienen una buena conexión hidráulica.

6.5 Instalación y muestreo de los muestreadores pasivos

Los iFlux se instalaron en los sondeos el día 11 de enero de 2023, y se retiraron el día 30 del mismo mes. Por su parte, los PFM se instalaron el día 28 de noviembre de 2023, y se retiraron el día 11 de diciembre. Los iFlux se enviaron por completo al laboratorio de análisis situado en Bélgica, y de los PFM se muestreó el carbón activo de su interior en botes de muestra; unos botes fueron enviados a Estados Unidos y otros se llevaron al laboratorio de Pirenarium para analizar el HCH total.

6.6 Resultados de la campaña de iFlux

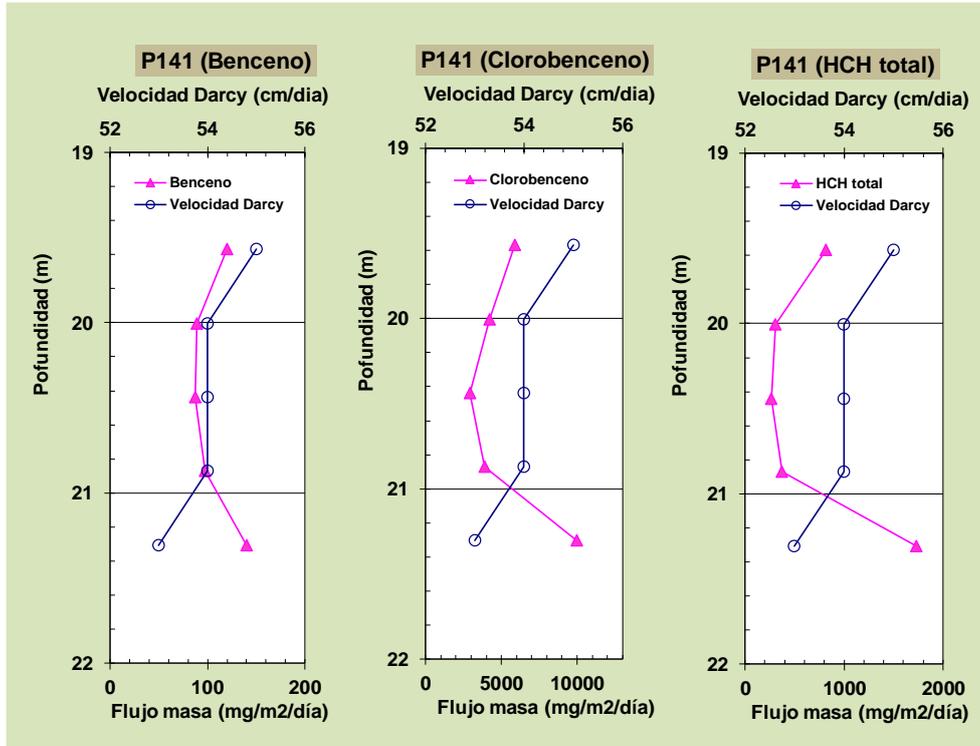
En la siguiente tabla se recogen los datos reportados por el laboratorio de iFlux para el flujo de masa de cada tramo y compuesto. En las gráficas a continuación, se representa la variación del flujo de masa a las distintas profundidades de muestreo en cada sondeo junto con la velocidad de Darcy.

Tabla 33. Flujo de masa de benceno, clorobenceno y HCH total (mg/m²/día) reportado para cada tramo en los sondeos de la Zona de Descarga

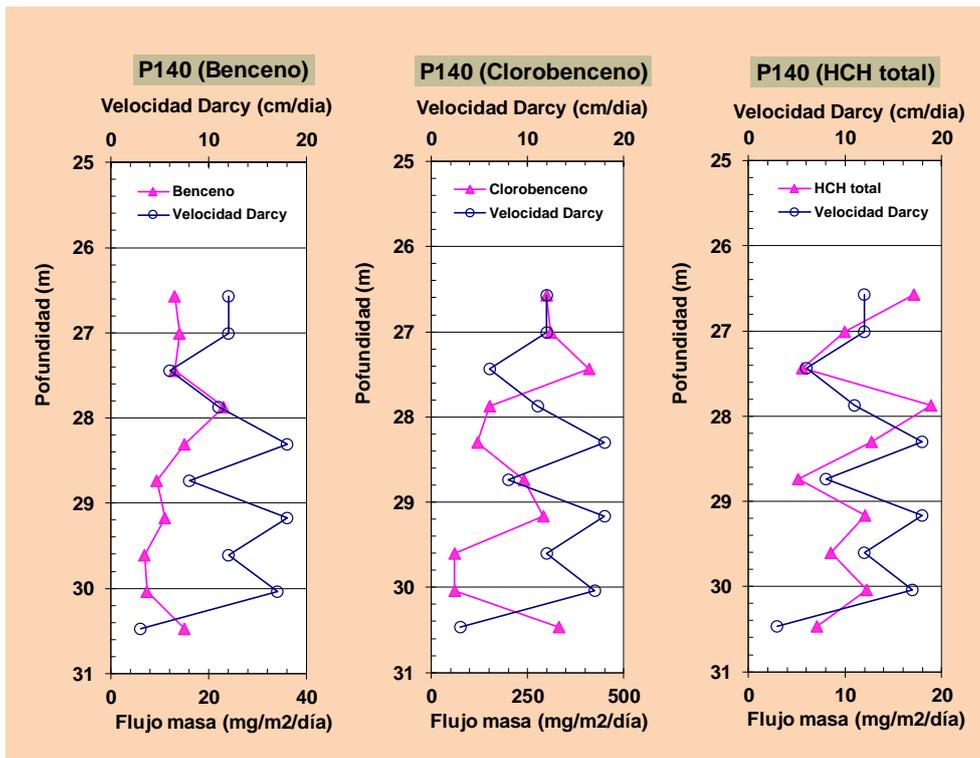
Sondeo	Prof. muestreo (m)	Velocidad Darcy (cm/día)	Benceno (mg/m ² /día)	Clorobenceno (mg/m ² /día)	HCH total (mg/m ² /día)
P141	19,57	<55	120	5.900	816
P141	20,01	<54	89	4.200	307
P141	20,44	<54	87	2.900	270
P141	20,87	<54	97	3.900	377
P141	21,31	<53	140	10.000	1.736
P140	26,57	12	13	300	17
P140	27,01	12	14	310	10
P140	27,44	6	13	410	6
P140	27,87	11	23	150	19
P140	28,31	18	15	120	13
P140	28,74	8	9	240	5
P140	29,17	18	11	290	12
P140	29,61	12	7	60	9
P140	30,04	17	7	60	12
P140	30,47	3	15	330	7
P142	39,88	<59	97	370	297
P142	40,31	<54	110	4.400	367
P142	40,74	<53	100	4.900	157
P142	41,17	<53	100	4.600	576
P142	41,61	<53	92	4.200	380
P142	42,04	<53	150	7.100	457
P142	42,47	<54	120	6.600	407
P142	42,91	<54	92	4.600	317

Sondeo	Prof. muestreo (m)	Velocidad Darcy (cm/día)	Benceno (mg/m ² /día)	Clorobenceno (mg/m ² /día)	HCH total (mg/m ² /día)
P142	43,34	49	160	9.800	830
P142	43,77	<54	120	7.100	415

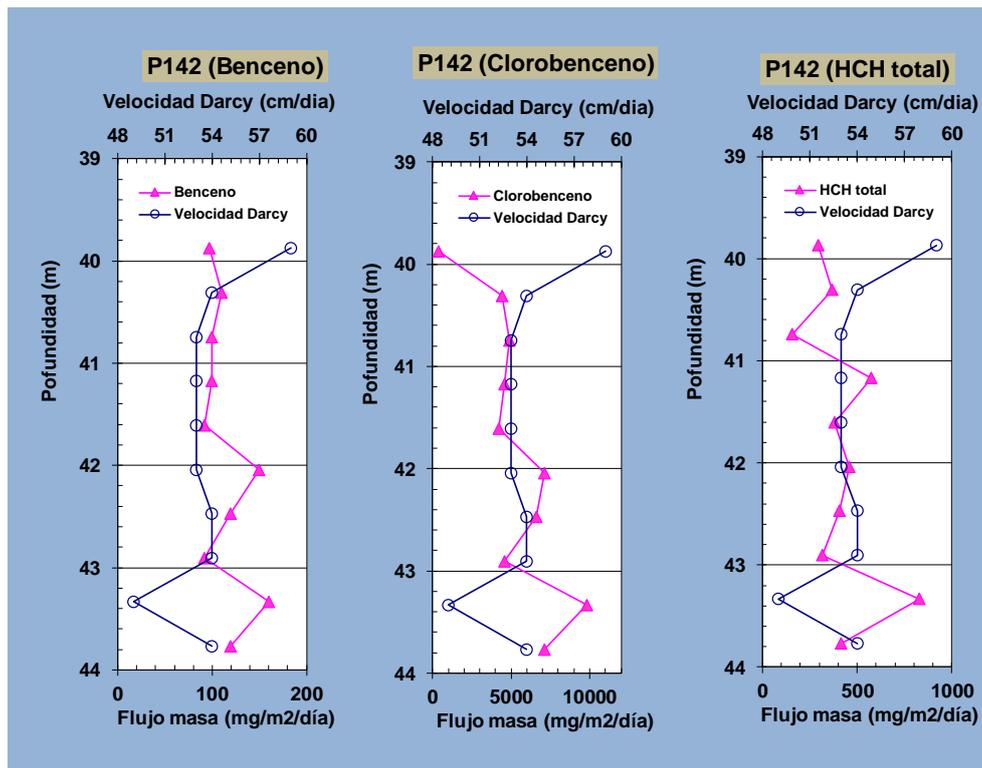
Gráfica 37. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P141



Gráfica 38. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P140



Gráfica 39. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142



A partir de los datos del flujo de masa, y según los supuestos descritos en el apartado 6.4, se han estimado los valores máximos y mínimos de la Descarga de Masa para el transecto de la Zona de Descarga, obteniéndose los siguientes valores.

Tabla 34. Resultados obtenidos para la Descarga de Masa en Zona de Descarga (enero 2023)

Supuesto	Benceno (g/año)	Clorobenceno (g/año)	HCH total (g/año)
Valor mínimo	14	590	73
Valor máximo	35	1.476	183

6.7 Resultados de la campaña de PFM

Una vez analizadas las muestras de carbón activo por los respectivos laboratorios, se hizo una comparativa de las concentraciones reportadas, detectándose una anomalía en los resultados de Pirenarium. Años anteriores, se había empleado para el análisis del HCH el laboratorio de referencia Analytico, situado en Bélgica.

Este año en cambio, se decidió optar por Pirenarium por varios motivos: la cantidad requerida de muestra era menor, mientras que con Analytico se necesitaba más volumen y a veces apenas había cantidad suficiente para todos los análisis; se evitaba el envío de muestras fuera de España, y se podían analizar todos los isómeros, ya que Analytico no podía analizar el isómero épsilon.

En la siguiente tabla, se comparan los resultados obtenidos este año para el sumatorio de los isómeros de HCH con los resultados reportados la campaña anterior por Analytico (2021) y la media de concentraciones obtenidas con Analytico en el conjunto de campañas de PFM realizadas (2015, 2016, 2017, 2019 y 2021).

Tabla 35. Comparación en los resultados de HCH total en carbón activo (mg/kg)

Sondeo	Prof. muestreo (m)	Pirenarium (2023)	Analytico (2021)	Analytico (media 2015-2021)
P141	16,9	0	4,72	1,37
P141	17,3	0	1,11	0,48
P141	17,7	0	1,17	0,48
P141	18,1	0	10,64	2,76
P141	19,5	0	23,71	5,64
P141	19,9	0	22,02	5,03
P141	20,3	0	57,33	12,42
P141	20,7	0	17,76	4,83
P140	26,5	0,000041	0,50	0,40
P140	26,9	0,000096	0,30	0,55
P140	27,3	0,000492	0,15	0,42
P140	27,7	0,001495	0,63	0,55
P140	29,3	0	0,25	0,26
P140	29,7	0	0,65	0,75
P140	30,1	0	2,54	1,05
P140	30,5	0	1,00	22,44
P142	39,8	0,000394	69,30	37,53
P142	40,2	0,000821	106,80	42,54
P142	40,6	0,000746	88,20	80,97
P142	41,0	0,000060	83,98	62,50
P142	46,0	0,020384	46,85	36,68
P142	46,4	0,000044	66,20	45,48
P142	46,8	0,001141	57,74	31,37
P142	47,2	0,000718	77,50	42,48

Tal y como se observa, las concentraciones reportadas por Pirenarium son entre 3 y 5 órdenes de magnitud inferiores, e incluso en la mitad de las muestras no se ha detectado ninguna concentración, lo cual es una diferencia considerable. De este modo, se puede concluir que, probablemente debido a las diferencias en los métodos de extracción y/o análisis entre ambos laboratorios, los resultados no son comparables.

Es por ese motivo que se ha decidido no emplear los resultados de Pirenarium para el carbón activo en los cálculos del flujo de masa. Para solventar esa deficiencia de datos, se ha optado por utilizar los datos analíticos de las muestras de agua tomadas en la última campaña de muestreo de octubre de 2023 en cada uno de los sondeos, tal y como se presenta en la siguiente tabla.

En la tabla, se recogen las concentraciones de benceno y clorobenceno analizadas por Enviroflux en µg/l, la concentración de HCH total analizada por Pirenarium en la campaña de muestreo de octubre de 2023 (un mismo valor para todos los tramos de un mismo sondeo, ya que únicamente se dispone de muestra a una profundidad), y la velocidad de Darcy en cm/día analizada por Enviroflux.

Tabla 36. Concentraciones de benceno, clorobenceno y HCH total (µg/l) para el cálculo del flujo de masa y velocidad de Darcy (cm/día) en los sondeos de la Zona de Descarga

Sondeo	Prof. muestreo (m)	Velocidad Darcy (cm/día)	Benceno (µg/l)	Clorobenceno (µg/l)	HCH total (µg/l)
P141	16,9	3,3	326	558	297
P141	17,3	4,3	1.258	3.319	297
P141	17,7	5,1	1.583	4.196	297
P141	18,1	4,2	4.138	5.383	297
P141	19,5	28,8	2.818	9.032	297
P141	19,9	26,5	2.229	7.197	297
P141	20,3	29,2	3.336	11.190	297
P141	20,7	24,9	6.306	22.085	297
P140	26,5	8,7	647	1.546	534
P140	26,9	9,3	400	1.142	534

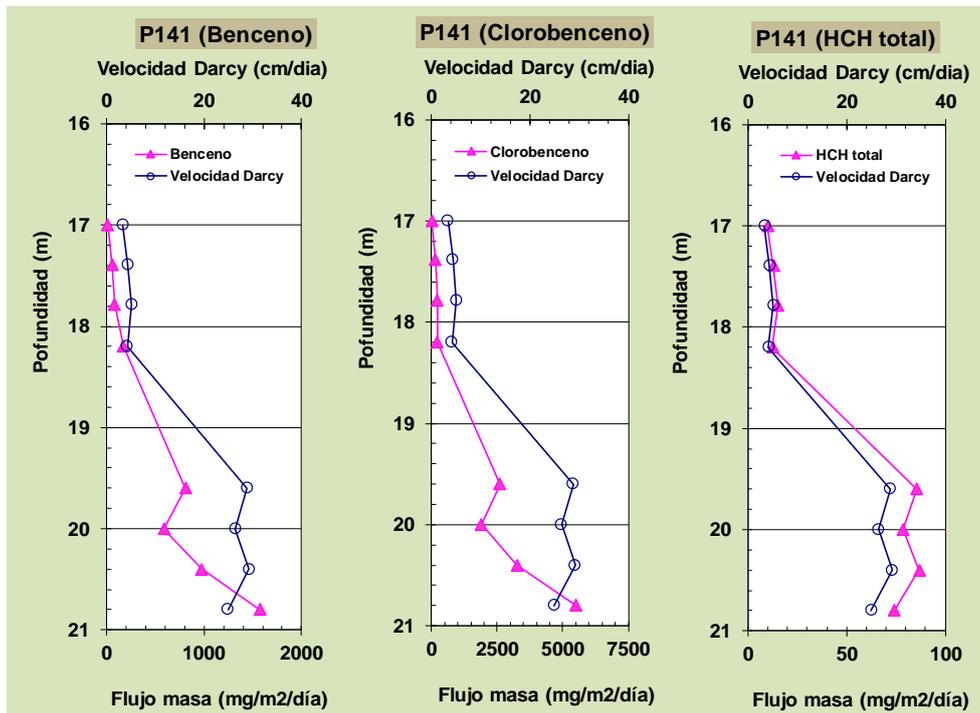
Sondeo	Prof. muestreo (m)	Velocidad Darcy (cm/día)	Benceno (µg/l)	Clorobenceno (µg/l)	HCH total (µg/l)
P140	27,3	8,3	602	1.676	534
P140	27,7	6,5	652	1.815	534
P140	29,3	9,6	744	1.897	534
P140	29,7	8,0	476	1.374	534
P140	30,1	6,7	562	1.715	534
P140	30,5	8,2	601	1.765	534
P142	39,8	14,0	6.594	17.980	482
P142	40,2	16,0	6.163	17.590	482
P142	40,6	22,4	4.724	13.492	482
P142	41,0	36,6	10.660	36.541	482
P142	46,0	23,0	7.717	24.010	482
P142	46,4	19,9	8.304	26.891	482
P142	46,8	28,3	7.720	24.050	482
P142	47,2	26,2	7.606	24.382	482

A partir de estos datos, se ha calculado el flujo de masa para cada tramo, cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla, y en las gráficas a continuación, se representa la variación del flujo de masa a las distintas profundidades de muestreo en cada sondeo junto con la velocidad de Darcy.

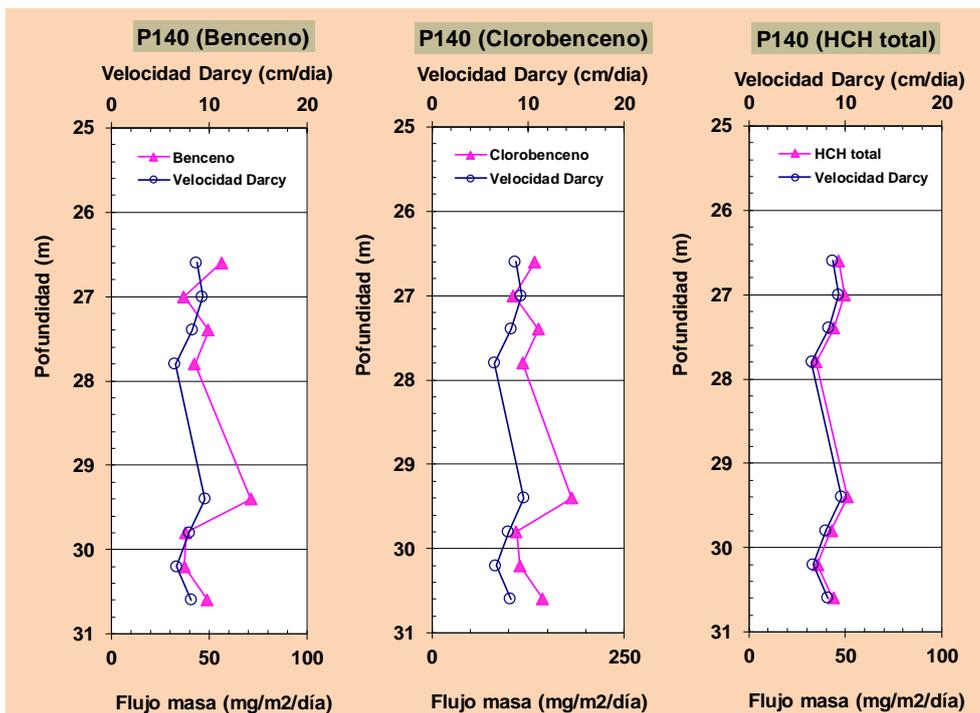
Tabla 37. Flujo de masa de benceno, clorobenceno y HCH total (mg/m²/día) calculado para cada tramo en los sondeos de la Zona de Descarga

Sondeo	Prof. muestreo (m)	Benceno (mg/m ² /día)	Clorobenceno (mg/m ² /día)	HCH total (mg/m ² /día)
P141	16,9	11	19	10
P141	17,3	55	144	13
P141	17,7	81	214	15
P141	18,1	174	226	12
P141	19,5	811	2.600	85
P141	19,9	590	1.904	79
P141	20,3	974	3.267	87
P141	20,7	1.572	5.506	74
P140	26,5	56	134	46
P140	26,9	37	106	50
P140	27,3	50	138	44
P140	27,7	43	118	35
P140	29,3	71	182	51
P140	29,7	38	110	43
P140	30,1	37	114	36
P140	30,5	49	144	44
P142	39,8	921	2.512	67
P142	40,2	987	2.817	77
P142	40,6	1.056	3.016	108
P142	41,0	3.903	13.380	177
P142	46,0	1.778	5.532	111
P142	46,4	1.650	5.345	96
P142	46,8	2.188	6.816	137
P142	47,2	1.996	6.398	127

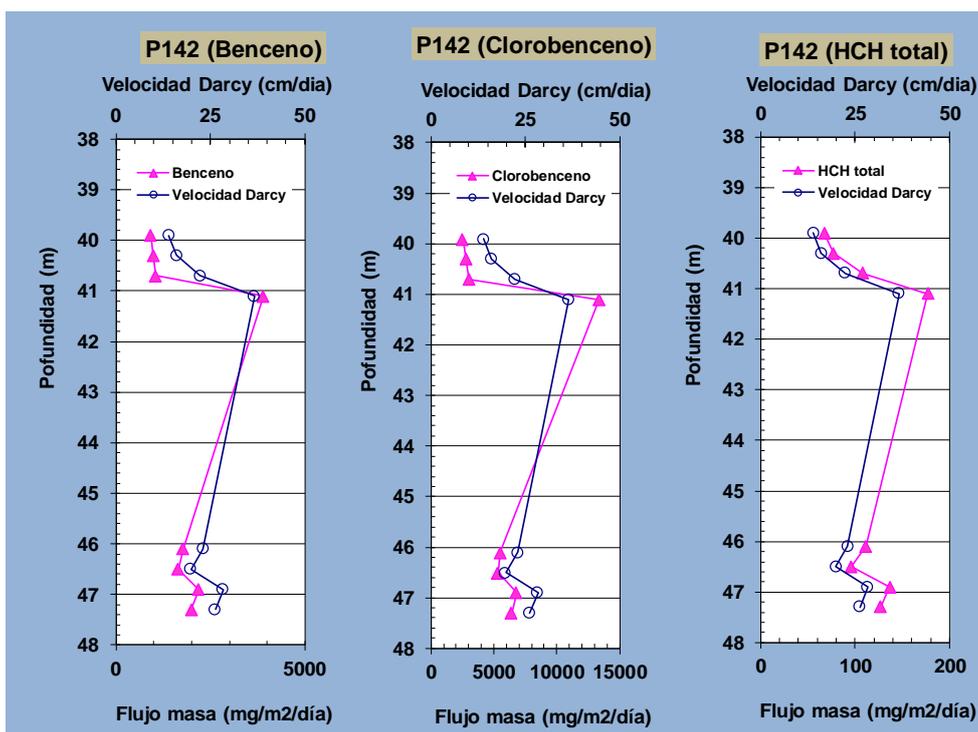
Gráfica 40. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P141



Gráfica 41. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P140



Gráfica 42. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142



A partir de los datos del flujo de masa, y según los supuestos descritos en el apartado 6.4, se han estimado los valores máximos y mínimos de la Descarga de Masa para el transecto de la Zona de Descarga, obteniéndose los siguientes valores.

Tabla 38. Resultados obtenidos para la Descarga de Masa en Zona de Descarga (diciembre 2023)

Supuesto	Benceno (g/año)	Clorobenceno (g/año)	HCH total (g/año)
Valor mínimo	132	421	12
Valor máximo	330	1.053	29

6.8 Evolución del flujo y descarga de masa en Zona de Descarga

En las siguientes tablas se muestran los intervalos de valores de las velocidades de flujo (expresados como velocidad de Darcy, cm/día), flujos de masa máximo y mínimo y valores de Descarga de masa máxima y mínima obtenidos desde 2015 (*campana muestreo iFlux).

Tabla 39. Comparación velocidad de flujo (cm/día) Zona Descarga (2015-2023)

Sondeo/Tramo	2015	2016	2017	2019	2021	ene-2023*	dic-2023
P141 (de 17 a 21 m)	6-29	6-24	4-20	4-20	6-31	53-55	3-29
P140 (de 27 a 31 m)	5-6	5-6	6-7	4-12	9-21	3-18	7-9
P142 (de 40 a 46 m)	12-21	8-23	9-27	7-21	25-44	49-59	14-36

Tabla 40. Comparación flujo de masa de benceno (mg/m²/día) Zona Descarga (2015-2023)

Sondeo/Tramo	Valor	2015	2016	2017	2019	2021	ene-2023*	dic-2023
P141 (de 17 a 21 m)	mín	7	2	0,1	0,3	20	87	11
	máx	283	317	1	6	681	140	1.572
P140 (de 27 a 31 m)	mín	17	46	0,5	8	64	7	37
	máx	39	93	30	31	109	23	71
P142 (de 40 a 46 m)	mín	524	475	360	51	961	92	921
	máx	1.735	2.215	1.009	425	2.084	160	3.903

Tabla 41. Comparación flujo de masa de clorobenceno (mg/m²/día) Zona Descarga (2015-2023)

Sondeo/Tramo	Valor	2015	2016	2017	2019	2021	ene-2023*	dic-2023
P141 (de 17 a 21 m)	mín	8	3	0	1	72	2.900	19
	máx	453	948	0,3	23	4.137	10.000	5.506
P140 (de 27 a 31 m)	mín	23	77	4	15	242	60	110
	máx	54	178	70	60	429	410	144
P142 (de 40 a 46 m)	mín	838	1.256	807	123	5.136	370	2.512
	máx	3.645	7.772	2.756	1.486	11.174	9.800	13.380

Tabla 42. Comparación flujo de masa de HCH total (mg/m²/día) Zona Descarga (2015-2023)

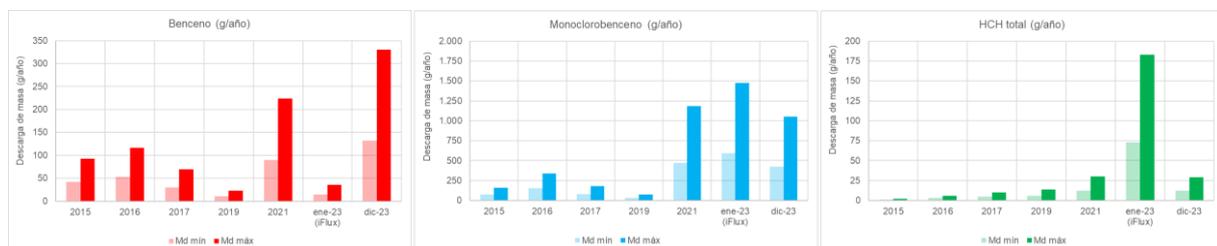
Sondeo/Tramo	Valor	2015	2016	2017	2019	2021	ene-2023*	dic-2023
P141 (de 17 a 21 m)	mín	0,2	0,3	1	0,5	2	270	10
	máx	0,8	0,5	2	8	127	1.736	87
P140 (de 27 a 31 m)	mín	0,06	0,15	0,2	1	0,6	5	35
	máx	0,1	0,2	292	4	9	19	51
P142 (de 40 a 46 m)	mín	15	25	2	66	104	157	67
	máx	36	103	209	285	237	830	137

Tabla 43. Comparación Descarga de Masa benceno, clorobenceno y HCH total (g/año) Zona Descarga (2015-2023)

Compuesto	Valor	2015	2016	2017	2019	2021	ene-2023*	dic-23
Benceno	Mínimo	42	53	30	11	90	12	132
	Máximo	92	116	69	23	224	29	330
Clorobenceno	Mínimo	72	154	79	33	473	528	421
	Máximo	160	340	181	73	1.183	1.320	1.053
HCH total	Mínimo	1	3	5	6	12	52	12
	Máximo	2	6	10	14	30	129	29

Para facilitar su visualización, en las siguientes gráficas se representa la evolución temporal de los valores de Descarga de Masa calculados en los años en los que se ha llevado a cabo el estudio en el transecto de la Zona de Descarga.

Gráfica 43. Resultados de flujo de masa y velocidad de Darcy en P142



En función de los resultados comparados entre las distintas campañas de muestreadores pasivos se puede resaltar lo siguiente:

- Los resultados de velocidad de Darcy registrados por los muestreadores de iFlux en P140 y P142 son significativamente superiores a la media histórica analizada por los PFM. Esto ha repercutido en un aumento de los valores de flujo de masa. Los valores reportados por el laboratorio, parecen indicar que el tiempo de instalación de los iFlux ha excedido el tiempo máximo de solubilidad de los trazadores del carbón activo, lo que podría suponer una incertidumbre al valor estimado de velocidad.

- Las concentraciones de benceno y HCH total analizadas por el laboratorio de iFlux también contrastan con los valores habituales que se detectan en los sondeos; habiéndose analizado una concentración de HCH total mayor que la de benceno, algo inusual en los sondeos de esta zona.
- De este modo, se observa una desviación de los valores de descarga de masa obtenidos para el benceno y el clorobenceno en enero de 2023.
- Sin tener en cuenta los datos obtenidos por iFlux, que suponen una incertidumbre según la serie de datos al haberse realizado a partir de otro proveedor/dispositivos, los resultados obtenidos en diciembre reflejan la tendencia que ya se venía observando en 2021, donde se detecta un aumento de la masa contaminante que pasa por la Zona de Descarga para todos los compuestos analizados.
- Los valores mínimos de velocidad de flujo se encuentran por encima de la media de años previos, y los máximos han aumentado especialmente en las zonas más profundas. Esto puede estar relacionado con un mayor efecto del “lavado” de fracturas a causa de la ejecución de ensayos de remediación aguas arriba.

6.9 Balance de masas

A partir de los datos de Descarga de Masa obtenidos en las dos campañas, se ha llevado a cabo un balance de masas con el fin de evaluar el potencial impacto a las aguas subterráneas a consecuencia de la descarga de masa contaminante de la capa M al río Gállego.

Para ello, se ha calculado la concentración que podría esperarse en el río si se produjera la descarga de masa estimada para cada compuesto en la Zona de Descarga en función del caudal transportado por el río Gállego. Matemáticamente, el balance de masas se calcula según la siguiente ecuación:

$$C_{\text{río}} = M_{\text{d}_{\text{máx}}} / Q_{\text{río}}$$

Ecuación 3

Donde:

$C_{\text{río}}$, es la concentración máxima esperable en el río [M/L³].

$M_{\text{d}_{\text{máx}}}$, es la descarga de masa máxima obtenida [M/t].

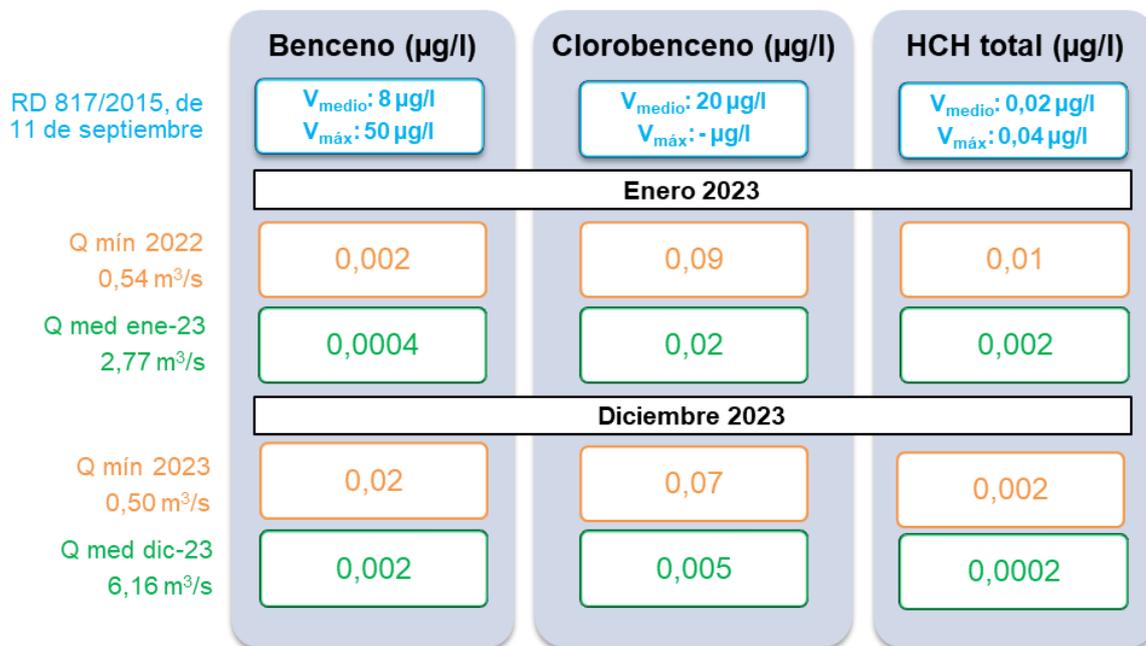
$Q_{\text{río}}$, es caudal del río [L³/t].

Para la campaña de enero de 2023, para el caudal del río se ha tomado el caudal medio registrado por la estación de aforo A139, situada en el río Gállego en el entorno de la descarga de la capa M, en el mismo mes en el que fueron instalados los iFlux, y el caudal mínimo registrado en todo 2022.

En el caso de la campaña de diciembre de 2023, se ha usado el caudal medio registrado por la misma estación en diciembre de 2023, mes en el cual se instalaron los PFM, y el caudal mínimo registrado en todo 2023.

En la siguiente figura se muestran las concentraciones máximas y mínimas estimadas para compuesto que podrían detectarse en el río a consecuencia de la descarga de masa de la capa M según los distintos valores de caudal empleados en cada campaña. El cálculo se ha obtenido teniendo en cuenta el caso más desfavorable, es decir, utilizando el valor de Descarga de Masa máxima de cada compuesto, lo que indicaría que todas las fracturas descargarían en el río.

Gráfica 44. Balance de masas río Gállego enero y diciembre 2023



Tal y como se puede observar, según los supuestos estimados y los valores analizados, las concentraciones se encontrarían por debajo de los valores dictaminados por el Real Decreto. No obstante, a caudal mínimo del río y empleando los datos de las concentraciones analizadas en el agua de los sondeos para toda la columna de los mismos, con las velocidades de flujo reportadas, las concentraciones de HCH total, el parámetro más sensible, se encontrarían a un orden de magnitud por debajo del valor medio del RD en la campaña de diciembre de 2023, y un punto por debajo del valor medio del RD en el caso de la campaña de enero de 2023.

Cabe destacar que los valores de caudal empleados para el supuesto más desfavorable son muy bajos y el flujo de masa equivalente para una época de aguas bajas, acorde a estos caudales, sería a priori más baja que la estimada en estos estudios, realizados en aguas altas. Por otro lado, los datos obtenidos con el estudio a partir de los dispositivos iFlux presenta ciertas incertidumbres respecto al método de los PFM.

6.10 Conclusiones del estudio de Descarga de Masa en Zona de Descarga

Los resultados obtenidos en la campaña de iFlux presentan ciertas incertidumbres de acuerdo al método de los PFM en base a las diferencias reportadas en la velocidad de Darcy y las concentraciones de benceno y clorobenceno.

En función del estudio de PFM en Zona de Descarga en diciembre de 2023, se observa un aumento de los valores de Descarga de Masa de benceno respecto a años anteriores, y una estabilización de los valores de clorobenceno y HCH total.

Esta campaña se realizó coincidiendo con una época de altas precipitaciones, donde los niveles se encontraban en cotas altas, y después de la ejecución de algunas actuaciones en el emplazamiento como perforación de sondeos y ensayos, donde se han inyectado volúmenes de agua significativos al acuífero, lo que favorece el lavado de fracturas y el aumento de la velocidad de flujo.

Aun así, el balance de masas con el río Gállego muestra valores inferiores a los normativos, aunque cercanos al valor medio para el HCH total, si bien se han empleado parámetros muy restrictivos.

Cabe destacar que la incidencia con el análisis del HCH en el carbón activo también ha sumado cierta incertidumbre a los resultados de la campaña de diciembre con los PFM, si bien se considera que se ha trabajado con los supuestos más desfavorables para obtener resultados conservadores.

7. Ensayo de infiltración en zona vadosa

En julio de 2023, se presentó a la Dirección Facultativa una propuesta de trabajos para la ejecución de tratamientos físico-químicos de descontaminación en la zona vadosa del vaso desmantelado de HCH. Estos trabajos se englobaron dentro del Capítulo 5 de la partida presupuestaria de 2023 detallada en el Pliego de Prescripciones Técnicas del contrato correspondiente a la Prórroga del Seguimiento Hidrogeológico de Bailín, Sabiñánigo (Huesca), con número de expediente 1404-4422-2019/18.

Para llevar a cabo los tratamientos de descontaminación, se propuso la realización de un ensayo de infiltración mediante la construcción de una balsa en la zona del Barranco Oeste del vaso, para alojar un cierto volumen de agua con reactivos y poder distribuirlos en una superficie determinada. El objetivo del ensayo es aplicar un tren de tratamiento físico-químico bajo la balsa que consiguiera arrastrar la carga contaminante alojada en las fracturas más superficiales de la zona vadosa para su posterior extracción y tratamiento.

Así, según el alcance de esta propuesta, en 2023 se han efectuado las siguientes actuaciones previas a la ejecución del ensayo:

- **Construcción de la balsa y perforación de sondeos.** Entre agosto y septiembre de 2023 se efectuaron los trabajos de construcción de una balsa de infiltración, con una superficie de 21 m² y 1 m de altura (0,5 m de llenado + 0,5 m de margen para evitar pérdidas inesperadas y sobrecarga), y perforación de 8 sondeos de 5 m de profundidad distribuidos por la superficie de la balsa (BAL1 a BAL8). Los detalles de la campaña de perforación de sondeos se encuentran recogidos en el apartado 5, expuesto con anterioridad.
- **Instalación, conexión y verificación de los sistemas disponibles en Zona 0 para realizar las pruebas y ensayo de trazador previos al ensayo de infiltración.** Estos trabajos se efectuaron en agosto de 2023.
- **Primera prueba de infiltración.** Con el objetivo de testar el comportamiento de los sondeos de la balsa, la capacidad de infiltración y la respuesta de los sondeos colindantes, en septiembre de 2023 se efectuaron una serie de pruebas con agua en la balsa. Con estas pruebas, se determinaron los caudales de infiltración y la operatividad del siguiente ensayo a realizar previo a la ejecución del ensayo de infiltración, un ensayo de trazadores. No obstante, se observó una pérdida significativa de caudal por el talud del barranco, al sur de la balsa.
- **Ensayo de trazadores.** En octubre de 2023, se efectuó un ensayo de trazadores con el objetivo de mejorar el conocimiento hidrogeológico de la red de fracturación y poder diseñar el plan de muestreo y monitorización del ensayo de infiltración.
- **Segunda prueba de infiltración.** Después del ensayo de trazadores, entre octubre y noviembre de 2023 se llevaron a cabo más pruebas de infiltración, con el objetivo de estimar la capacidad de infiltración por cada sondeo individualmente, y los volúmenes a partir de los cuales se producían las pérdidas por el barranco. Los resultados permitieron ajustar los volúmenes idóneos de trabajo, y determinar vías de movilización por las fracturas subsuperficiales a los sondeos colindantes.

A continuación, se detallan los principales trabajos realizados en el marco de estas actuaciones. Cabe destacar que el ensayo de infiltración se realizará en el mes de junio de 2024, en aguas bajas.

7.1 Construcción de la balsa

En el mes de junio de 2023 comenzaron los trabajos de adecuación de accesos a la zona de implantación de la balsa de infiltración, y los trabajos de construcción de la balsa finalizaron en agosto de 2023. Las obras se realizaron sobre la plataforma del sondeo P196, mediante construcción de una zapata de hormigón y levantamiento de un muro de bloque impermeabilizado con mortero hidrófugo.

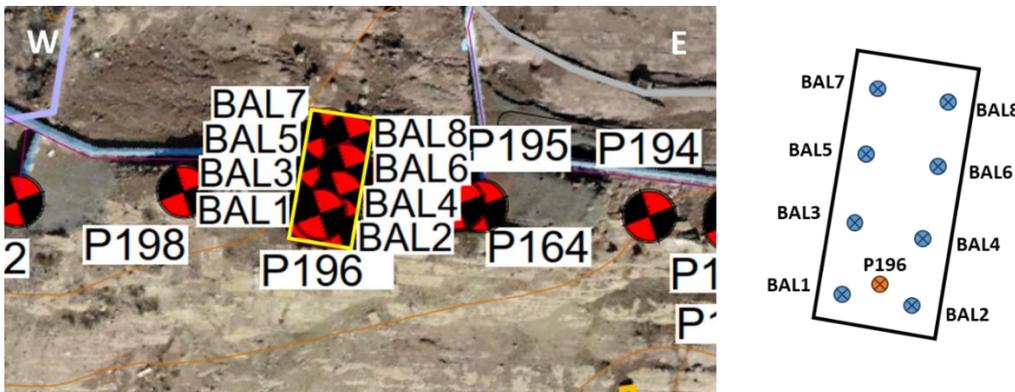
Paralelamente a la construcción de la balsa, se llevaron a cabo trabajos de conexión eléctrica e hidráulica de los equipos existentes en Zona 0, y se conectaron al cuadro eléctrico protecciones y bombas, caudalímetros y dos agitadores. Además, se conectaron las tuberías de trasvase desde los depósitos de mezcla al depósito de inyección con la bomba, las llaves de paso y la salida del depósito de inyección con la bomba, las llaves y el caudalímetro.

En el interior de la balsa se distribuyeron los 8 sondeos perforados en la campaña de julio de 2023, tal y como se ha comentado con anterioridad en el apartado 5.

Figura 29. Ubicación de la balsa de infiltración en el vaso



Figura 30. Distribución de los sondeos de actuación en la balsa (vista general y detalle)



La balsa quedó con una superficie aproximada de 21 m² (7 m de longitud por 3 m de ancho) y una altura de 1 m. De este modo, el volumen útil disponible de la balsa es de 21 m³; sin embargo, para los ensayos no se considera óptimo emplear la capacidad total, si no trabajar como máximo entre los 10-15 m³ para evitar cargas innecesarias y facilitar la operatividad.

Figura 31. Fotografías de la balsa de infiltración



Los sondeos tienen una densidad de fracturación de 1,6 fracturas por metro y están perforados mayoritariamente sobre limolita. De acuerdo al modelo conceptual en esta zona, las fracturas más superficiales presentan una mayor conexión, no tan dependiente de la litología como ocurre en profundidad, por lo que el agua infiltrado en el terreno puede fluir subsuperficialmente interconectando capas.

7.2 Pruebas de infiltración

Las semanas previas al comienzo del ensayo de trazadores, se realizaron varias pruebas con el objetivo de resolver algunas dudas acerca de la capacidad de infiltración de los sondeos y el terreno bajo la balsa, observar el comportamiento de los sondeos de actuación y la respuesta de los sondeos colindantes, o detectar fugas no deseadas por debajo de las zapatas y paredes de la balsa.

En un primer momento, se planificó la siguiente serie de pruebas con agua sin trazadores para valorar el funcionamiento de cada una de ellas individualmente, en orden de ejecución:

- Llenado de la balsa con los tapones expansivos cerrados y apertura controlada de los mismos.
- Instalación de válvulas con regulador a boca de sondeos que permitan la infiltración controlada a caudal más o menos constante.
- Instalación de una membrana filtrante semipermeable que permita la infiltración gradual.

Por otro lado, para evitar la pérdida de caudal por el sondeo P196, cuya profundidad alcanza más allá del nivel freático, se instaló un packer a 5 m.

Estas primeras pruebas se llevaron a cabo entre el 18 y el 25 de septiembre de 2023. A continuación, se comentan los detalles de las mismas:

- El día 18 de septiembre se llenó el depósito de 12.000 l situados en la Zona 0 con agua procedente de la red de suministro y se instaló el packer en P196.
- Al día siguiente, se trasvasaron 6.000 l de agua en la balsa con los sondeos abiertos. Este volumen tardó en trasvasarse por completó unos 90 min, lo que supone un caudal aproximado de llenado de 67 l/min. Al poco de comenzar el llenado, se observó cómo parte del caudal se perdía por el talud del barranco, al sur de la balsa. Este caudal no puede ser aforado, por lo que no fue posible hacer una estimación aproximada del volumen que se pierde de forma visual.
- Los siguientes días se procedió a realizar la prueba con los tapones cerrados, para lo cual se reforzó el cierre mediante sellado de las juntas de la tubería piezométrica y la superficie de la balsa a boca de sondeo. El día 21 de septiembre se trasvasaron 5.000 l en unos 90 min (caudal aproximado de llenado de 56 l/min). En función de los descensos en el nivel en la balsa, se calculó un caudal de infiltración aproximado de 16 l/min. Las fugas por el talud siguieron produciéndose (aproximadamente a los 45 min del comienzo del llenado).
- Las siguientes pruebas arrojaron caudales de infiltración de entre 27 y 36 l/min con los tapones completamente cerrados (en aumento debido al lavado de las fracturas).

Con estos datos, se estimó que no era posible reducir la velocidad de infiltración mediante los métodos planificados ya que las últimas pruebas se llevaron a cabo con los sondeos totalmente sellados, determinándose que muy probablemente la mayor parte del agua de la balsa se filtra a las perforaciones a través del filtro de grava situado entre la tubería piezométrica y la pared rocosa por las juntas de la superficie de la balsa.

No obstante, se planificaron una serie de trabajos para realizar con posterioridad al ensayo de trazadores de cara a mejorar el conocimiento de los parámetros de infiltración en los sondeos de la balsa y el comportamiento de los sondeos colindantes, de cara al diseño final del ensayo de infiltración con surfactante.

Estos trabajos se efectuaron del 24 de octubre al 29 de noviembre de 2023, después del ensayo de trazadores, debido a la necesidad de no interferir con otros trabajos programados en el emplazamiento que pudieran posponer su realización (como la perforación de sondeos en Zona 0, o el inicio del ensayo de bioestimulación en Zona de Barrera) y evitar retrasar así el cronograma de actuaciones previsto para los próximos meses.

La operativa de trabajo consistió en llenar de forma individual cada sondeo de la balsa y monitorizar el volumen de agua inyectado y el tiempo de vaciado a la vez que se visualizaba con una cámara de inspección los sondeos limítrofes a la balsa, uno aguas arriba (P195) y otro aguas abajo (P198) para detectar vías de entrada del agua infiltrada y si se producían pérdidas de caudal en el talud.

Así mismo, se monitorizó el nivel de agua en ambos sondeos mediante un dispositivo de medición en continuo (LORA) para ver si se producían ascensos en el nivel freático a consecuencia de esta infiltración.

Entre cada prueba, se dejaron transcurrir 24 horas como mínimo para tratar de no producir interferencias y que se solaparan los efectos asociados a cada una de ellas. A continuación, se comentan las pruebas realizadas y los resultados obtenidos en los trabajos posteriores al ensayo:

- BAL 1. La litología es conglomerado de 0 a 1,5 m, y arenisca de 1,5 a 5 m. Se inyectaron 60 l de agua. No se detectó variación en el nivel freático ni se observaron rezumes de agua por las fracturas en los sondeos de observación ni por el talud.
- BAL 2. La litología es arenisca de 0 a 4 m y limolita de 4 a 5 m. Se inyectaron 140 l de agua. En la grabación de P195 se detectaron rezumes entre los 3-4 m de profundidad en fracturas (arenisca). El nivel freático ascendió unos 50 cm. Durante la infiltración, se produjeron pérdidas de caudal por el talud entre los 2-3 m de profundidad.
- BAL 3. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se inyectaron 40 l de agua. No se detectó variación en el nivel freático ni se observaron rezumes de agua por las fracturas en los sondeos de observación ni por el talud.
- BAL 4. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se inyectaron 40 l de agua. No se detectó variación en el nivel freático ni se observaron rezumes de agua por las fracturas en los sondeos de observación. Durante la infiltración, se produjeron pérdidas de caudal por el talud entre los 2-3 m de profundidad.
- BAL 5. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se inyectaron 40 l de agua. No se detectó variación en el nivel freático ni se observaron rezumes de agua por las fracturas en los sondeos de observación ni por el talud.
- BAL 6. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se inyectaron 30 l de agua. Se detectó una pequeña subida en el nivel freático de 8 cm. No se observaron rezumes en los sondeos de observación pero sí cierta pérdida de caudal por el talud.
- BAL 7. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se inyectaron 30 l de agua. No se detectó variación en el nivel freático ni se observaron rezumes de agua por las fracturas en los sondeos de observación ni por el talud.
- BAL 8. La litología es limolita de 0 a 5 m. Se realizaron dos eventos de inyección. En el primero se inyectaron 40 l y en el segundo 60 l de agua. No se observaron rezumes en los sondeos de observación pero sí cierta pérdida de caudal por el talud.

En función de las pruebas realizadas, se pudieron extraer las siguientes conclusiones:

- En prácticamente todos los sondeos, la infiltración de aproximadamente el 50% del caudal se producía durante el primer minuto de llenado, con lo que los caudales de infiltración máximos fueron de unos 20 a 30 l/min.
- Se producen pérdidas en el talud cuando se infiltra únicamente en los sondeos BAL2, BAL4, BAL6 y BAL8, que son los situados inmediatamente al este de la balsa, lo que puede indicar la existencia de una fractura transversal a las capas que conecta directamente estos sondeos con el talud.
- Con los volúmenes inyectados, solo se detectaron rezumes en uno de los sondeos de observación. Concretamente, únicamente se produjeron al inyectar en BAL2 en el sondeo largo situado inmediatamente aguas arriba, P195.

Así mismo, en esta inyección (140 l) el nivel freático aumentó unos 50 cm en P195, lo que corresponde a un volumen de unos 5,3 l. No obstante, también se produjeron pérdidas de caudal por el talud que no pudieron ser aforadas.

- A parte de la escasa conexión de BAL2 hacia el sondeo P195, lo más probable es que los volúmenes inyectados percolen directamente por la columna del sondeo P196, situado dentro de la balsa.

7.3 Ensayo de trazadores

7.3.1 Parámetros de operación y monitorización del ensayo

El ensayo de trazadores desde la balsa de infiltración se realizó en el mes de octubre de 2023. Para el ensayo, se emplearon como trazadores bromuro potásico (KBr) y sal común (NaCl). Estos productos se mezclaron en un volumen de agua de 11 m³, de modo que la concentración inicial de cada uno de los trazadores fue de 5,45 g/l de NaCl y 0,36 g/l de KBr.

La mezcla de agua con trazador se preparó por tandas en los dos depósitos de 1.000 l con agitación. De estos depósitos, se fue trasvasando el volumen de mezcla a través de una bomba al tanque de 12.000 l. En este depósito, se fue recirculando la mezcla con otra bomba impulsando el agua desde la base del tanque hasta la tapa superior para mantenerla homogénea.

Con el tanque lleno, se procedió a llenar la balsa mediante una bomba de trasvase controlando en todo momento el caudal mediante un caudalímetro. Los parámetros iniciales medidos en la balsa de infiltración una vez llenada fueron los siguientes:

Tabla 44. Parámetros analizados en el agua de balsa al inicio del ensayo

Parámetro	Valor
Conductividad	10.710 μ S/cm
pH	8,4
Redox	58 mV
Concentración cloruro	3.420 mg/l
Concentración bromuro	223 mg/l

Para el control del ensayo se llevaron a cabo campañas de muestreo y medición de niveles y parámetros físico-químicos. Para las medidas de nivel, se emplearon dispositivos de medición en continuo tipo *diver* y LORA. Los parámetros físico-químicos se tomaron en el momento de la toma de las muestras y se realizaron perfiles de conductividad a lo largo de la columna de los sondeos de control. Los sondeos de control implicados en el ensayo se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 45. Resumen sondeos y parámetros monitorización ensayo

Sondeo	Zona	Capa	Prof. muestreo (m)
P193	Vaso Bco. Oeste	M	-
P194	Vaso Bco. Oeste	M	-
P195	Vaso Bco. Oeste	M	20
P198	Vaso Bco. Oeste	M	30
P172	Vaso Bco. Oeste	M	30
P171	Zona 0	M	35
P174	Zona 0	M	30
P81	Zona 0 a Barranco 3	M	35
P55	Zona 0 a Barranco 3	M	20
P79	Barranco 3	M	35
P129	Zona Barrera	M	-
P130	Zona Barrera	M	35
I1S	Zona Barrera	M	35
O1S	Zona Barrera	M	35
O2	Zona Barrera	M	35
P143	Zona Barrera	M	46
P223	Barranco 4	M	33

Sondeo	Zona	Capa	Prof. muestreo (m)
P146	Barranco 4	M	bailer
P222	Aguas abajo Barranco 4	M	bailer
P140	Zona Descarga	M	30
P182	Vaso Bco. Oeste	OU	bailer
P90	Zona 0	U	25
P109	Vaso Bco. Oeste	U	30

Los niveles se monitorizaron en continuo en todos los sondeos de la tabla anterior a excepción de los sondeos P193, P194, P146, P182, P90 y P109.

Para los perfiles de conductividad, las mediciones se llevaron a cabo cada metro desde la profundidad de nivel hasta el fondo del sondeo mediante sonda TLC.

En las figuras a continuación se resumen para cada parámetro de monitorización del ensayo (muestreos y toma de parámetros físico-químicos y perfiles de conductividad) el cronograma de los trabajos realizados. El número incluido en la celda indica el número de controles efectuados ese día para un mismo parámetro de control. Los controles para determinar las condiciones iniciales (*baseline*) se ejecutaron el día 28 de septiembre.

En los muestreos, se fue analizando la concentración de cloruros y bromuro. Adicionalmente, en el muestreo inicial (*baseline*) y final se analizaron también contaminantes de interés.

Figura 32. Cronograma de perfiles de conductividad

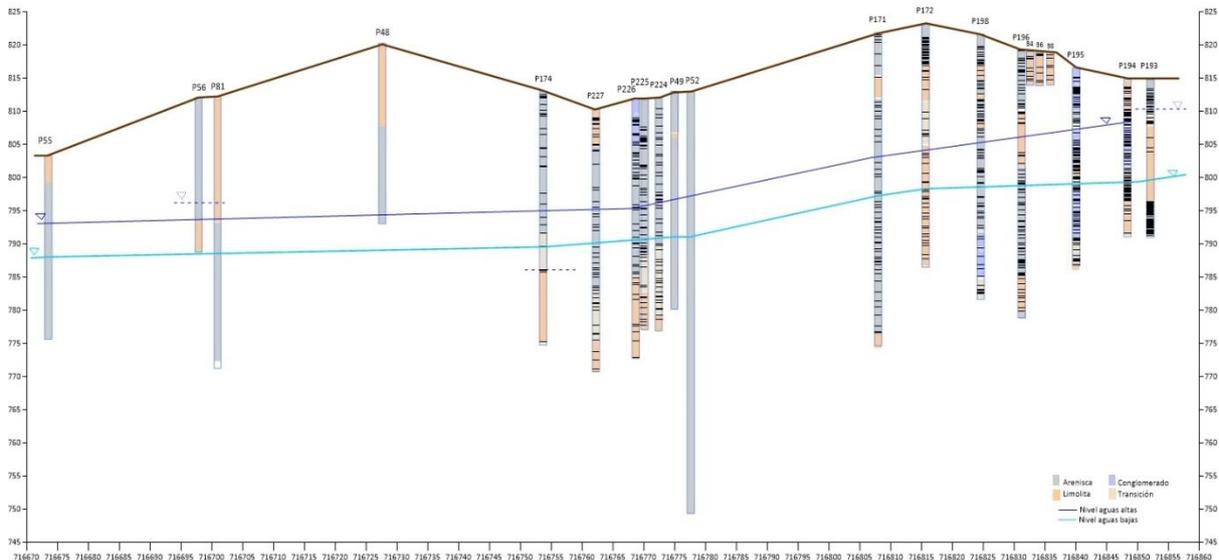
Sondeo	28-sep	29-sep	30-sep	01-oct	02-oct	03-oct	04-oct	05-oct	06-oct	07-oct	08-oct	09-oct	10-oct	11-oct	12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct
P193	1				1	-	1	1	1			1	-	-					-
P194	1				2	1	1	1	1			1	-	-					1
P195	1				3	2	1	1	1			1	-	-					1
P198	1				2	1	1	1	1			1	1	1					1
P172	1				3	1	1	1	1			1	1	1					1
P171	1				2	1	1	1	1			1	1	1					1
P174	1				2	2	1	1	1			1	1	1					1
P81	1				2	2	1	1	1			1	-	1					1
P55	1				2	-	1	1	1			1	-	1					1
P79	1				1	1	-	1	1			1	-	1					1
P129	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
IIS	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
O1S	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
P143	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
P223	1				-	1	1	-	1			-	-	1					1
P146	1				-	1	1	-	1			-	-	1					1
P222	1				-	1	-	1	1			-	1	1					1
P140	1				-	1	1	-	1			-	1	1					1
P182	1				1	-	1	1	1			1	1	1					1
P90	1				-	-	-	1	1			1	1	1					1
P109	1				-	1	-	1	1			1	1	1					1

Figura 33. Cronograma de muestreos y medición de parámetros físico-químicos

Sondeo	28-sep	29-sep	30-sep	01-oct	02-oct	03-oct	04-oct	05-oct	06-oct	07-oct	08-oct	09-oct	10-oct	11-oct	12-oct	13-oct	14-oct	15-oct	16-oct
P195	1				3	1	1	1	1			-	-	-					1
P198	1				3	2	1	1	1			-	-	1					1
P172	1				3	2	1	1	1			-	-	1					1
P171	1				3	2	1	1	1			-	-	1					1
P174	1				2	2	1	1	1			-	-	1					1
P81	1				2	2	1	1	1			-	-	1					1
P55	1				2	2	1	1	1			-	1	1					1
P79	1				2	2	1	1	1			-	1	1					1
P130	1				-	2	1	1	1			1	1	1					1
IIS	1				-	2	1	1	1			1	1	1					1
O1S	1				-	2	1	1	1			1	1	1					1
O2	1				-	2	1	1	1			1	1	1					1
P143	1				-	2	1	1	1			1	1	1					1
P223	1				-	1	1	1	1			1	1	1					1
P146	1				-	1	1	1	1			1	1	1					1
P222	1				-	1	1	1	1			1	1	1					1
P140	1				-	1	1	1	1			1	1	1					1
P182	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
P90	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1
P109	1				1	1	1	1	1			-	-	1					1

En la figura a continuación se presenta un perfil de los sondeos de la zona de ensayo con la litología y las fracturas identificadas en la testificación. Cabe destacar que en la figura aparecen los sondeos P224 a P229, que fueron perforados con posterioridad a la ejecución del ensayo.

Figura 34. Perfil sondeos zona de ensayo



7.3.2 Ejecución del ensayo

El ensayo de trazadores se inició el día 2 de octubre y finalizó el 16 de octubre. El llenado de la balsa comenzó a las 8:30 a un caudal de unos 60 l/min. Los tapones de los sondeos se dejaron cerrados. Durante el llenado, se percibió la entrada de agua en P195 y P198, y se observaron surgencias por el talud.

La balsa se terminó de llenar sobre las 11:30, quedando un nivel remanente de unos 25 cm, correspondiente a un volumen de unos 4.017 l. De este modo, el caudal de infiltración durante el llenado fue de unos 38,8 l/min. El vaciado total de la balsa se produjo sobre las 14:30 (a las 6 h del inicio del llenado, o 3 h del fin del llenado), por lo que el caudal de vaciado del volumen remanente fue de unos 22,3 l/min.

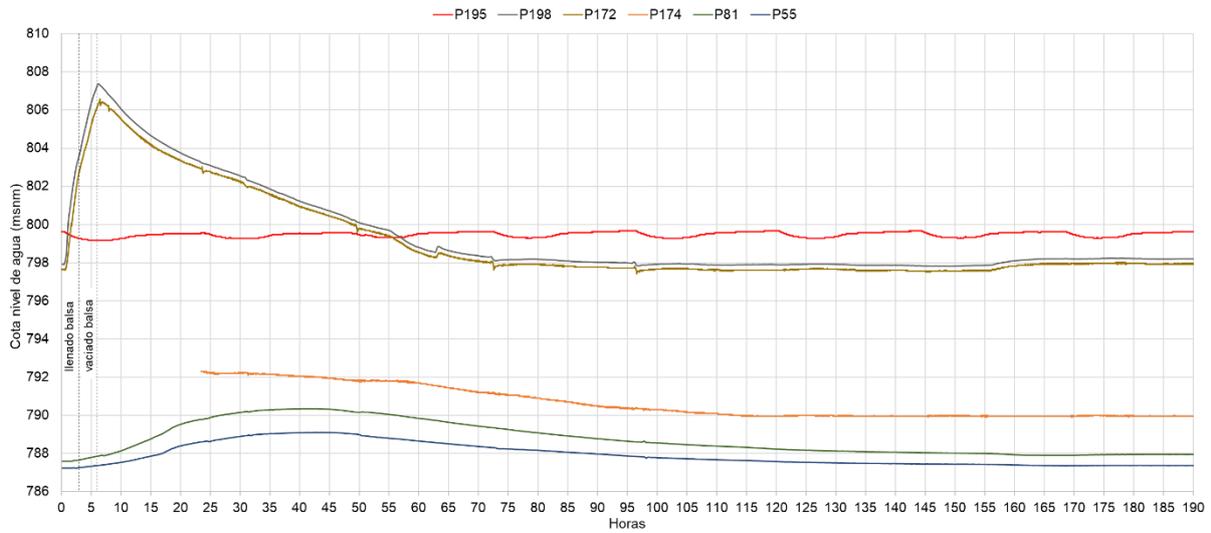
La monitorización de los parámetros de control se inició en los sondeos de observación a las 10:00 y se fueron tomando mediciones tal y como se ha representado en las figuras del cronograma expuestas en el apartado anterior.

7.3.3 Resultados del ensayo de trazadores

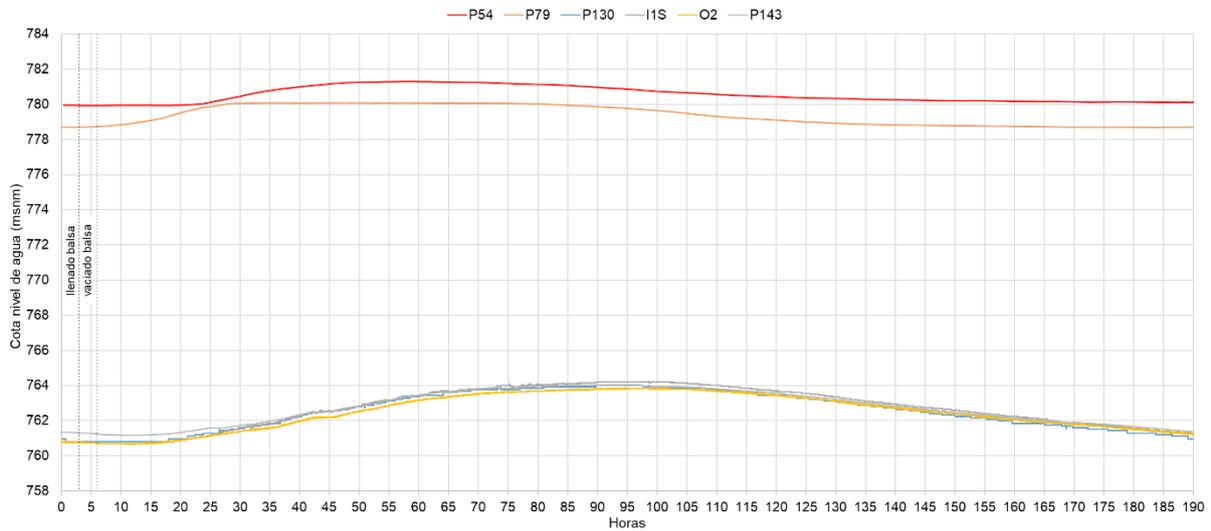
Evolución de niveles de agua

En las gráficas a continuación se recoge la evolución de los niveles de agua en los sondeos de monitorización en continuo en las distintas zonas del emplazamiento.

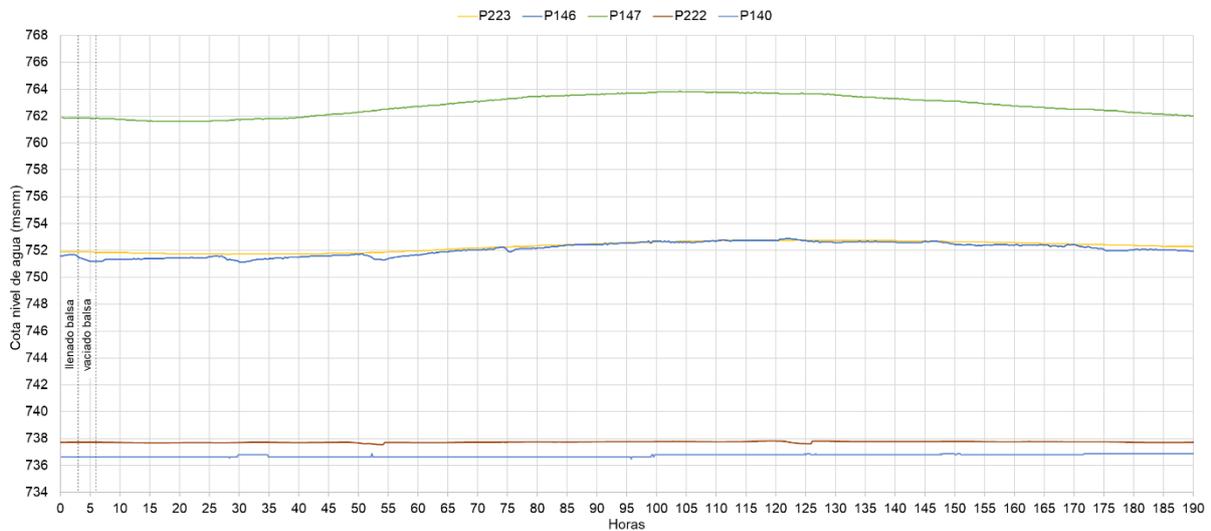
Gráfica 45. Evolución de los niveles de agua en sondeos Vaso-Zona 0 a Barranco 3



Gráfica 46. Evolución de los niveles de agua en sondeos Barranco 3 a Zona Barrera



Gráfica 47. Evolución de los niveles de agua en sondeos Barranco 4 a Zona Descarga



De la evolución de los niveles de agua se pueden extraer las siguientes observaciones. Cabe destacar que durante todo el tiempo de ensayo no se produjeron precipitaciones y los niveles se encontraban prácticamente estables en cotas de aguas bajas, lo que facilita la interpretación:

- El sondeo situado aguas arriba de la balsa, P195, no presentó ninguna influencia al volumen de agua infiltrado durante el ensayo. Esto contrasta con el desarrollo de las pruebas de infiltración, donde se detectó cierta influencia en el nivel de agua del sondeo cuando se inyectó agua en el sondeo BAL2.
- Los sondeos más cercanos a la balsa, P198 y P172, son los que presentan un mayor aumento de los niveles en respuesta a la infiltración:
 - En P198, a unos 7,5 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a los 30 min de empezar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (14,49 m, a la cota de 807,37 msnm) a las 6 h y 10 min de iniciar el llenado (unas 3 h y 10 min después de finalizar el llenado, y unos 10 min después de que se vaciara por completo la balsa). De este modo, el nivel aumentó 9,45 m en 5,66 h (a razón de 1,67 m/h).
 - En P172, a unos 17,5 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a los 43 min de empezar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (16,93 m, a la cota de 806,6 msnm) a las 6 h y 30 min de iniciar el llenado (unas 3 h y 30 min después de finalizar el llenado, y unos 30 min después de que se vaciara por completo la balsa). El nivel aumentó 8,92 m en 5,77 h (a razón de 1,55 m/h).
 - En ambos sondeos se produce una descarga progresiva y recuperan el nivel inicial más o menos a las 69 h del vaciado de la balsa (2 días y 21 h después).
- En P174, aguas abajo de P172, se produjo un fallo del dispositivo de medición y no se pudo registrar el comienzo del ascenso de niveles. En los otros dos sondeos monitorizados situados antes del Barranco 3, P81 y P55, se observan las siguientes respuestas:
 - En P81, a unos 135,3 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a las 2 h y 10 min de empezar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (21,81 m, a la cota de 790,3 msnm) a las 40 h y 30 min de iniciar el llenado (1 día y 10 h después de que se vaciara la balsa por completo). El nivel aumentó 2,75 m en 38,33 h (a razón de 7,17 cm/h).
 - En P55, a unos 163,8 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a las 2 h y 50 min de empezar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (14,35 m, a la cota de 789,1 msnm) a las 41 h y 30 min de iniciar el llenado (1 día y 11 h después de que se vaciara la balsa por completo). El nivel aumentó 1,87 m en 38,66 h (a razón de 4,8 cm/h).
 - En ambos sondeos se produce una descarga progresiva y tendida y el nivel se estabiliza más o menos a las 124 h en P55 y 134 h en P81 del vaciado de la balsa (entre 5 y 5 días y medio después), quedando unos 0,14 m (P55) a 0,35 m (P81) por encima del nivel que presentaban al inicio del ensayo.
- En los sondeos del Barranco 3, P54 y P79, se observan un comportamiento contrastado, ya que los niveles comienzan a subir antes en P79 (más alejado) que en P54, con bastante diferencia. Esto puede ser debido a la menor conexión de P54 en los tramos de influencia, si bien no se dispone de información precisa de la litología y fracturación de este sondeo por su antigüedad.

De hecho, parece notarse que el nivel de P54 comienza a aumentar poco antes de que la cota del nivel de P79 iguale a la cota del nivel base de P54, lo que indicaría que hasta la cota 778,86 msnm aproximadamente, el sondeo P54 se encuentra escasamente conectado a la capa M.

- En P54, a unos 220,9 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a las 21 h y 25 min de empezar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (9,18 m, a la cota de 781,30 msnm) a las 57 h y 25 min de iniciar el llenado (2 días y 3 h después de que se vaciara la balsa por completo). El nivel aumentó 1,35 m en 36 h (3,7 cm/h).
- En P79, a unos 268,6 m de la balsa aguas abajo, el nivel de agua comenzó a subir a las 6 h de comenzar el llenado de la balsa, y alcanzó el nivel máximo (15,19 m, a la cota de 780,08 msnm) a las 34 h de empezar el llenado (28 h después de que se vaciara la balsa por completo). El nivel aumentó 1,38 m en 28 h (a razón de 4,9 cm/h).

A parte de la diferencia con P54, en este sondeo también se produce el aumento de los niveles más rápidamente que en P55 y P81, situados entre 104,7 y 133,6 m aguas arriba, lo que evidencia un mayor grado de conexión con la capa M en profundidad.

- En P54, después de alcanzar el valor máximo, el nivel de agua disminuye paulatinamente hasta las 139 h del vaciado de la balsa a razón de unos -1,7 cm/h. Después, la descarga es mucho más suave, y recupera totalmente el nivel casi 8 días después.

En P79, el nivel de agua se estabiliza a la cota máxima alcanzada durante unas 59 h (2 días y medio aproximadamente), para después comenzar a descender suavemente durante las siguientes 40 h, recuperando el nivel inicial unos 6 días después.

- Los sondeos situados en la Zona de Barrera, P130, I1S, O2 y P143 presentan todos la misma evolución; siendo la respuesta prácticamente simultánea en los cuatro puntos, y alcanzan todos la misma cota máxima (las máxima diferencia observada entre los 4 sondeos es de únicamente 36 cm), con un mínimo desfase debido a la distancia entre ellos (la distancia entre el sondeo ubicado más aguas arriba y más aguas abajo de esta zona (P130 respecto P143) es de 109 m).

En general, los niveles comenzaron a subir unas 18 h de empezar el llenado de la balsa, y alcanzaron el nivel máximo (a la cota aproximada de 764 msnm, con un ascenso neto de unos 2,5 m) más o menos a las 95 h de iniciar el llenado (casi 4 días después).

Los niveles permanecieron en cotas altas durante aproximadamente un día y medio, para disminuir paulatinamente a partir de entonces a razón de unos -3,1 cm/h, y recuperar los valores iniciales más o menos 4 días y medio después de alcanzar los niveles máximos.

- Aguas abajo de la Zona de Barrera, el sondeo P147 responde exactamente igual que los sondeos de Zona de Barrera, al conectar las mismas vías preferentes de circulación en profundidad, con un ascenso de unos 2 m, pero con un retardo de prácticamente 10 horas.

En los otros sondeos de Barranco 4, P146 y P223, que presentan el mismo comportamiento entre ellos, a las 50 h del comienzo del ensayo se percibió cierta influencia de los caudales infiltrados, aunque la subida fue muy paulatina y de menos de 1 m, con su pico máximo a las 115 h.

Por su parte, los sondeos P222, situado aguas abajo del Barranco 4, y P140, de la Zona de Descarga, no mostraron ninguna influencia al ensayo.

En las figuras a continuación se sintetiza la evolución de los tiempos de llegada del frente de avance del agua infiltrada desde el inicio del ensayo. La primera figura representa el momento en el que los niveles comienzan a subir en cada uno de los sondeos monitorizados, mientras que en la segunda se representa el momento en el que tiene lugar el máximo de nivel alcanzado en cada punto de control.

Figura 35. Tiempo de llegada del frente de agua en los sondeos de control (comienzo de ascensos de nivel)

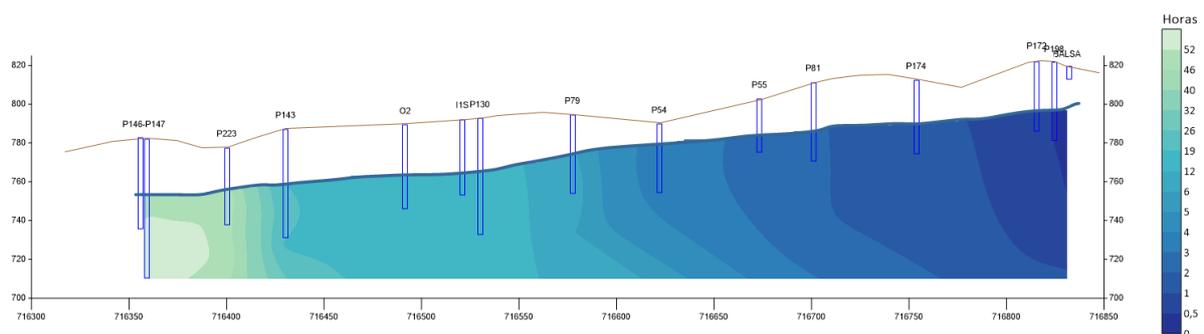
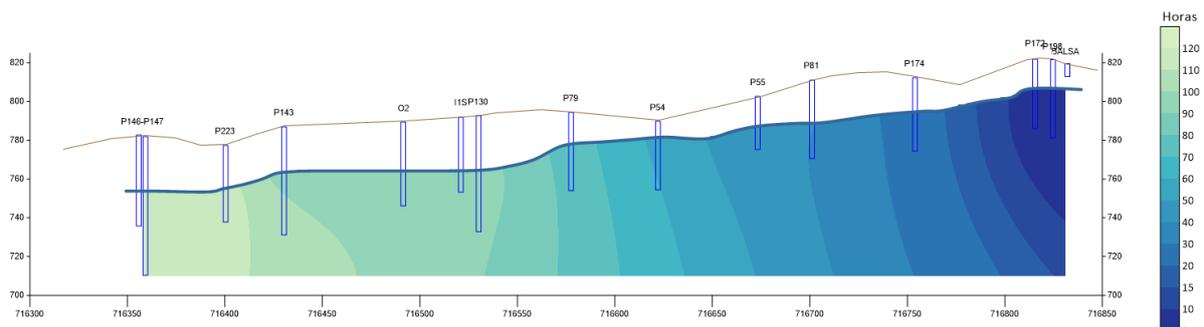


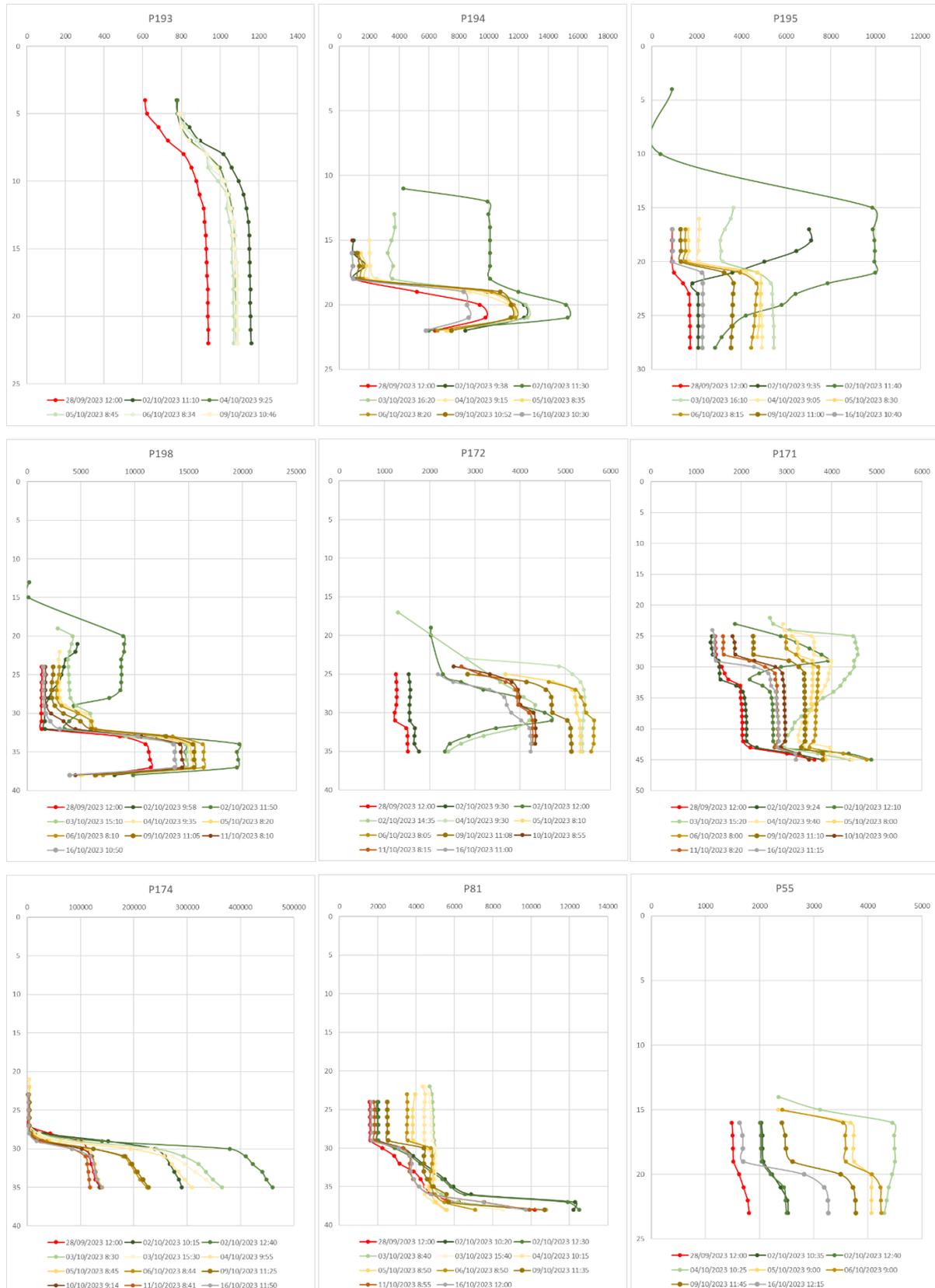
Figura 36. Tiempo en el que se detecta el pico de nivel máximo en los sondeos de control

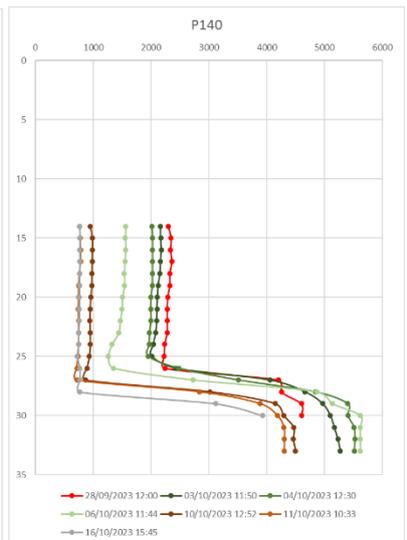
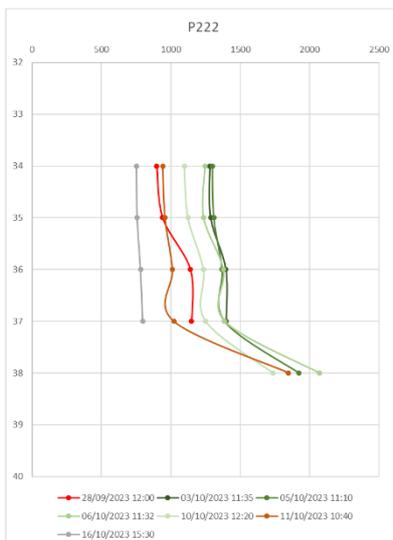
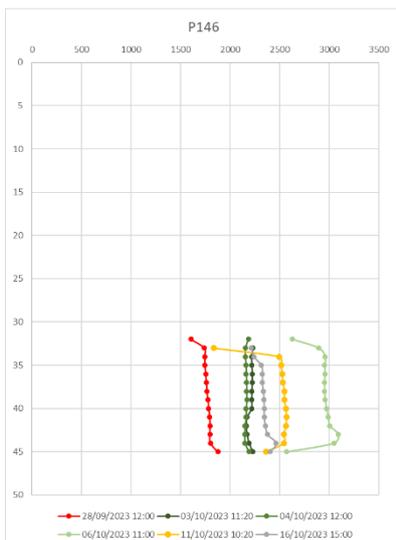
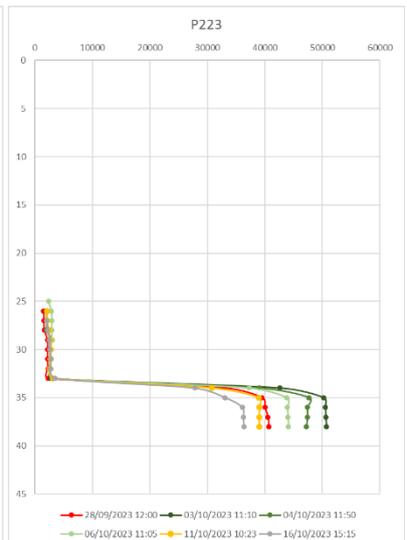
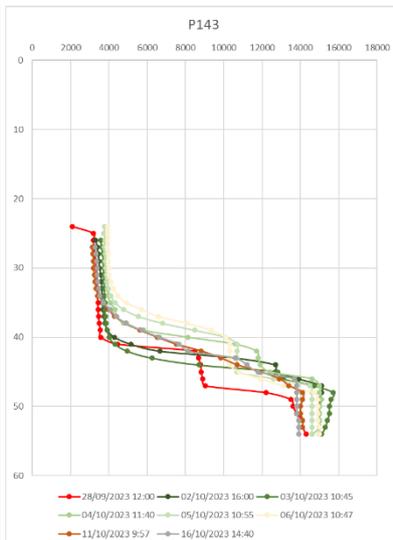
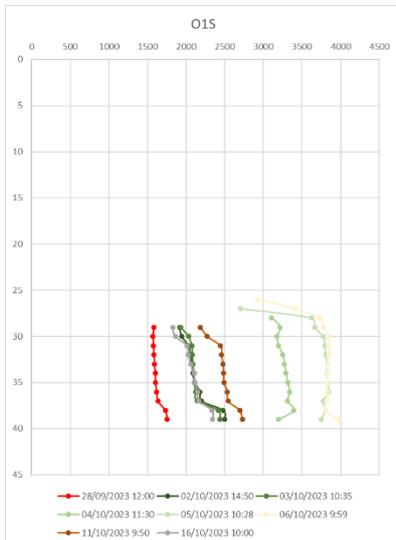
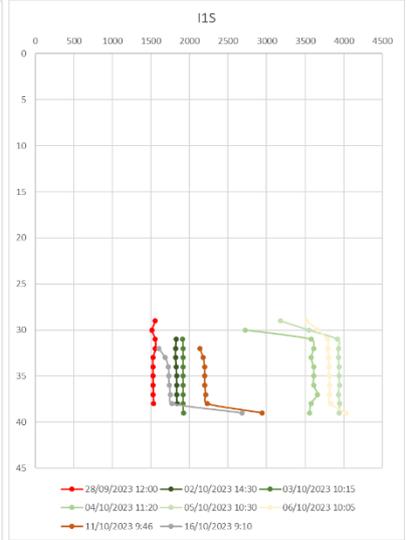
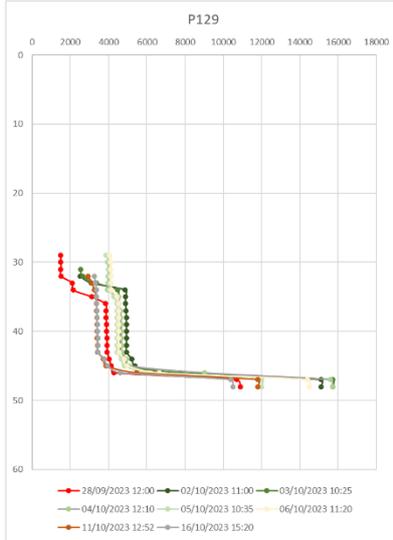
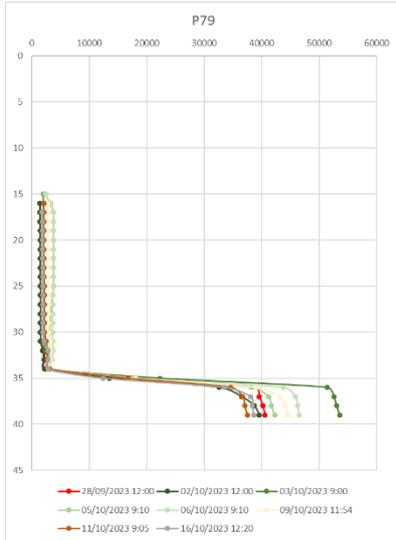


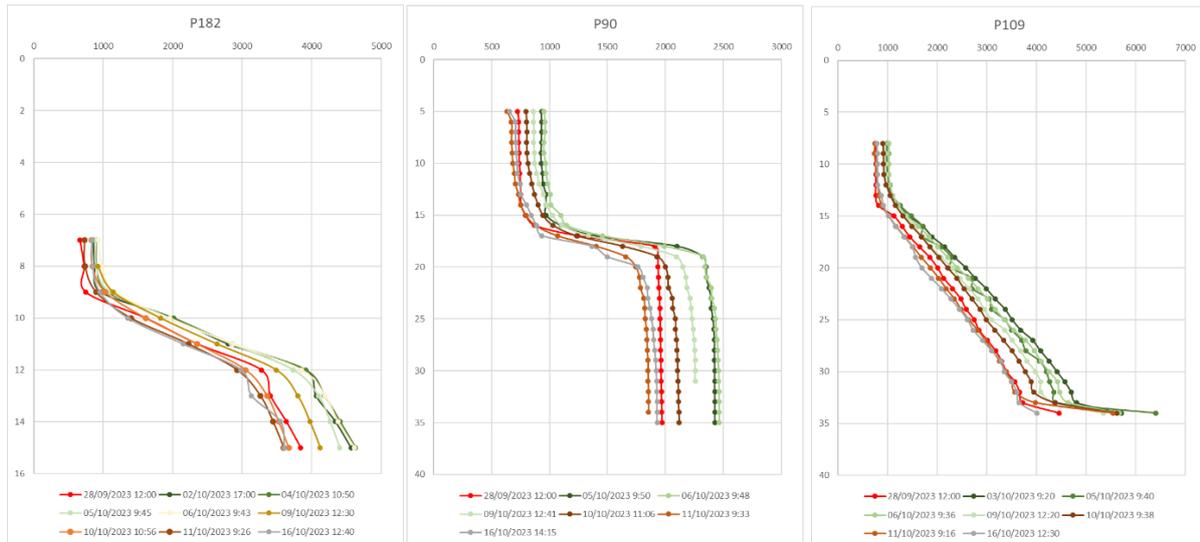
Evolución de la conductividad

En las gráficas a continuación se muestran los perfiles de conductividad llevados a cabo en profundidad cada sondeo de control durante el ensayo. Las tres primeras gráficas corresponden a sondeos situados inmediatamente aguas arriba de la balsa de infiltración, mientras que las tres últimas corresponden a sondeos situados en capas transversales a la M.

Gráfica 48. Perfiles de conductividad en profundidad durante el ensayo de trazadores







De la evolución de la conductividad en profundidad en los sondeos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los sondeos aguas arriba de la balsa muestran la influencia de la infiltración desde el sondeo P194 (P193, situado a 20 m aguas arriba, ya no refleja ninguna influencia). En el sondeo P195 se detectó entrada de caudales desde aproximadamente los 4 m de profundidad, si bien en la evolución de niveles no se había registrado ningún ascenso, lo que parece indicar que se produjo algún error del dispositivo, ya que a las 2 h del comienzo del ensayo se midieron valores de conductividad desde los 4 m de profundidad.

Sin embargo, llama la atención que el frente de llegada inicial presentó conductividades muy bajas, lo que podría ser debido a una primera entrada de agua de red proveniente de la tubería de trasvase.

El ascenso de conductividad en P195, inmediatamente aguas arriba de la balsa, se produjo principalmente en los primeros metros de columna de agua, al filtrarse los caudales infiltrados por las fracturas más superficiales al inicio del ensayo. En P194, unos 9 m aguas arriba de P195, también se produjo cierto ascenso de nivel (4 m), y se registró igualmente un fuerte ascenso de la conductividad desde los primeros metros de columna de agua (entre los 11 m, profundidad máxima del nivel freático, hasta los 18 m de profundidad).

- En P198, también se detectó la llegada de los caudales por las fracturas más superficiales, a conductividades de agua de red, y ya a partir de los 20 m se observa la entrada del trazador en el sondeo. La conductividad en este punto se estabilizó bastante rápido en el tiempo al tener aporte de agua con menor conductividad desde aguas arriba.

Por otro lado, se aprecia el cambio de litología de los últimos metros del sondeo, a los 33 m de profundidad, evidenciando la menor conexión de este tramo, fuera de la capa M, correspondiente a un nivel de conglomerado con una menor densidad de fracturación.

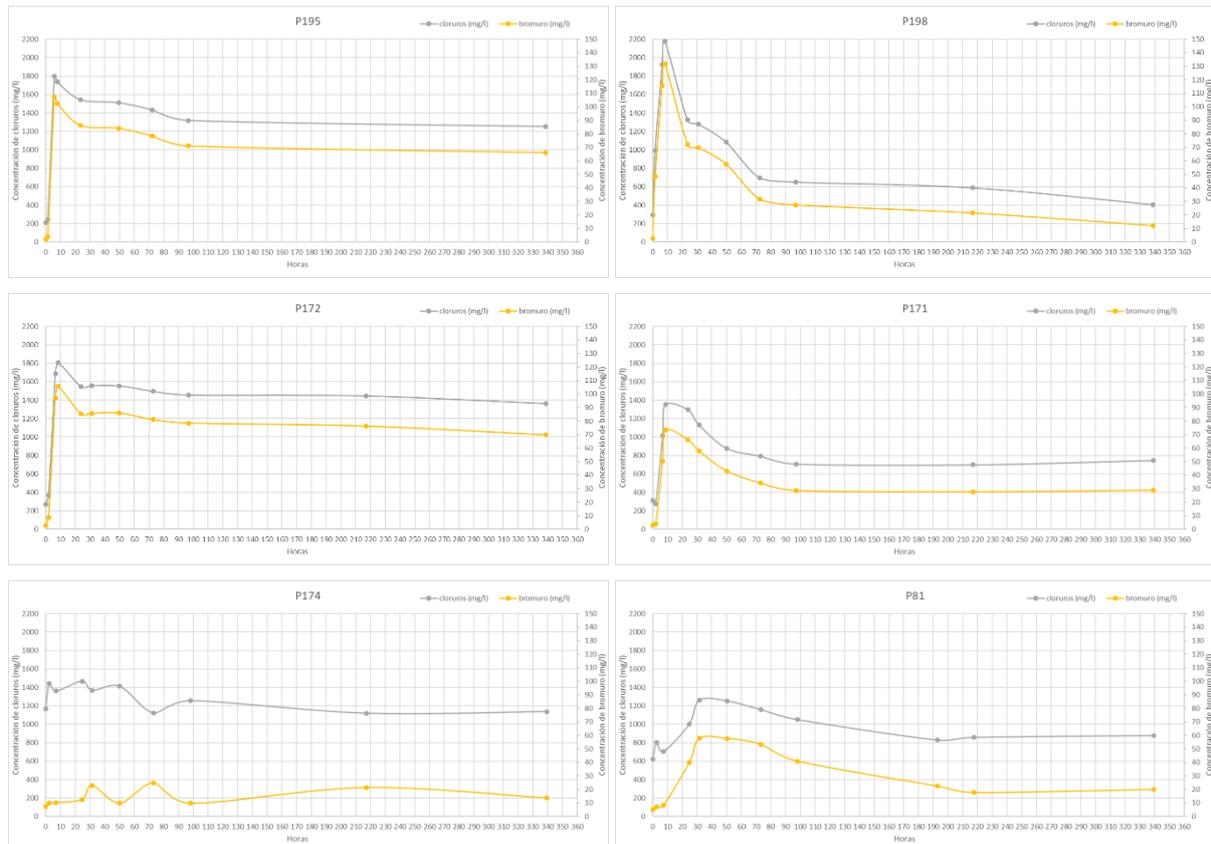
- En P172 el aumento de conductividad se detectó en el segundo control, a las 4 h del inicio del ensayo, por lo que la llegada del trazador ocurrió entre las 2 y las 4 h del inicio del ensayo, sobre los 30 m de profundidad. La conductividad sigue aumentando hasta 4 días después del inicio del ensayo, cuando comienza a estabilizarse.
- En P171, la llegada del trazador ocurrió entre los 25 y los 27 m de profundidad, entre las 2 y 4 h del inicio del ensayo. A partir de los 30 m, la columna se homogeniza, y se evidencia el cambio de litología a los 43 m.
- En P174, se aprecia el cambio de litología a los 30 m de profundidad aproximadamente, donde, a causa de la falta de conexión de esa franja, el sondeo actúa como un “fondo de saco”, donde perduran restos de oxidante y otros compuestos inyectados en ensayos realizados en la zona años atrás. El “empuje” ocasionado por la llegada de caudales de agua es el posible causante de la movilización de los restos de reactivos en el fondo de los sondeos, generando variaciones en las mediciones de conductividad, sin que sea una causa directa de la llegada del trazador.

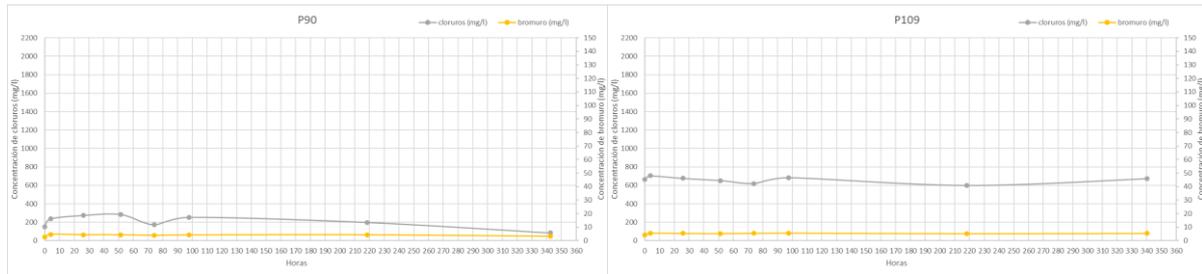
- En P81, el aumento de conductividad se detectó al día siguiente del inicio del ensayo, entre los 25 y los 30 m de profundidad, donde la evolución del trazador parece evidenciar la zona de circulación preferente. La tendencia ascendente en la columna de agua de la conductividad en profundidad desde los 30 m de profundidad parece responder a la zona donde presuntamente podrían encontrarse las fracturas con DNAPL residual que alimentan el sondeo.
- En P55, la llegada del trazador no se pudo establecer detalladamente debido a fallos en la sonda de medición, con ausencia de datos el día 3 de octubre, pero se detectó el máximo a los dos días del inicio del ensayo, coincidiendo con el momento en el que se registró el pico máximo de nivel de agua. La entrada parece registrarse entre los 16 y los 19 m de profundidad.
- En P79, no se puede establecer la llegada del trazador a partir de las medidas de conductividad, que de producirse, lo haría a partir de los 35 m de profundidad.
- En P129, la entrada de trazador tampoco es fiable a partir de las medidas de conductividad. La franja de máxima circulación en cualquier caso se produciría entre los 33 y los 45 m de profundidad.
- En I1S y O1S, los valores máximos de conductividad se detectan a los 4 días del ensayo, aunque a los 2 días ya parece notarse la influencia de los trazadores, cuya distribución es homogénea a lo largo de toda la columna de agua.
- Aguas abajo de la Zona de Barrera, en los sondeos P143, P223, P222 y P140 no se aprecia ninguna influencia del trazador. Únicamente en P146 se observa un comportamiento similar a I1S y O1S, aunque con un día de retardo respecto a estos últimos.
- Por último, de los sondeos monitorizados en capas transversales, P182, P90 y P109,

Evolución de las concentraciones de bromuro y cloruros

En las gráficas a continuación se presenta la evolución de los valores de bromuro y cloruros analizados en las muestras de agua a la profundidad de circulación preferente.

Gráfica 49. Evolución de la concentración de bromuro y cloruros durante el ensayo de trazadores





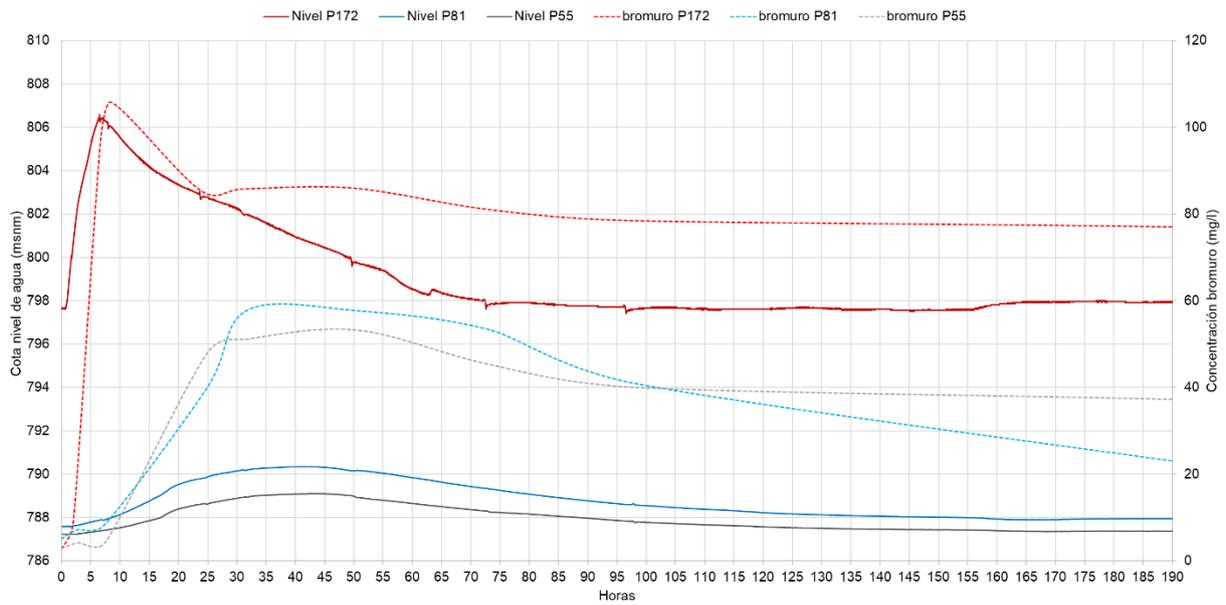
A continuación, se comentan los aspectos más destacables observados en cuanto a evolución de bromuro y cloruros en los sondeos de monitorización durante el ensayo:

- En el sondeo P195, situado inmediatamente aguas arriba de la balsa, se observa la influencia del trazador 1,5 h después del inicio del ensayo, cuyo pico se produce a las 6 h. En este punto, la concentración de los trazadores se mantuvo bastante alta hasta el final del ensayo.
- Ya aguas abajo, P198 comienza a aumentar la concentración de trazadores en el primer muestreo de control, en poco más de 1 h, y el pico se registra a las 8 h del inicio del ensayo, lo que demuestra que 2 h después de alcanzar su nivel de agua máximo a consecuencia de la infiltración, aún recibía el aporte de la mezcla de trazadores desde la balsa. Después, la concentración fue disminuyendo a diferentes tasas de decrecimiento hasta el final de la monitorización.
- En P172 y P171, la concentración de trazadores también comienza a aumentar proporcionalmente a la distancia a la balsa a partir de las 2 h del inicio del ensayo, con su pico máximo a las 8 h.
- Como se vio con los perfiles de conductividad, en P174 no se puede evidenciar directamente una influencia de los trazadores en base a la evolución observada, lo que demuestra la escasa conexión de este sondeo con el resto de capa M.
- En P81 y P55, los trazadores comenzaron a llegar a los sondeos pasadas las 8 h del inicio, con una evidencia clara de su llegada a las 24 h, y un pico registrado a las 31 h (unas 9 h antes de que se registrara el pico de nivel máximo a consecuencia de la infiltración) en caso de P81 y, previsiblemente, en torno a las 32 h en P55.
- En P79, parece que se empiezan a detectar los trazadores pasadas las 50 h del inicio del ensayo, lo que es compatible con el ascenso del nivel de agua registrado.
- En los sondeos de la Zona de Barrera P130, I1S y O1S, que presentaron comportamientos similares en base a las mediciones de nivel y conductividad, se observa en todos los casos la llegada de los trazadores entre las 32 y las 50 h, con máximos en torno a las 60 a 75 h en función de la distancia entre ellos. En el caso de O2, aguas abajo de los anteriores, se aprecia un máximo de la concentración de trazadores a las 100 h (4 días) del inicio del ensayo.
- En el resto de sondeos monitorizados, no se detecta la llegada de los trazadores, a excepción de P223, en Barranco 4, donde podrían haber llegado a partir de las 100 h, y con un máximo registrado a las 170 h.

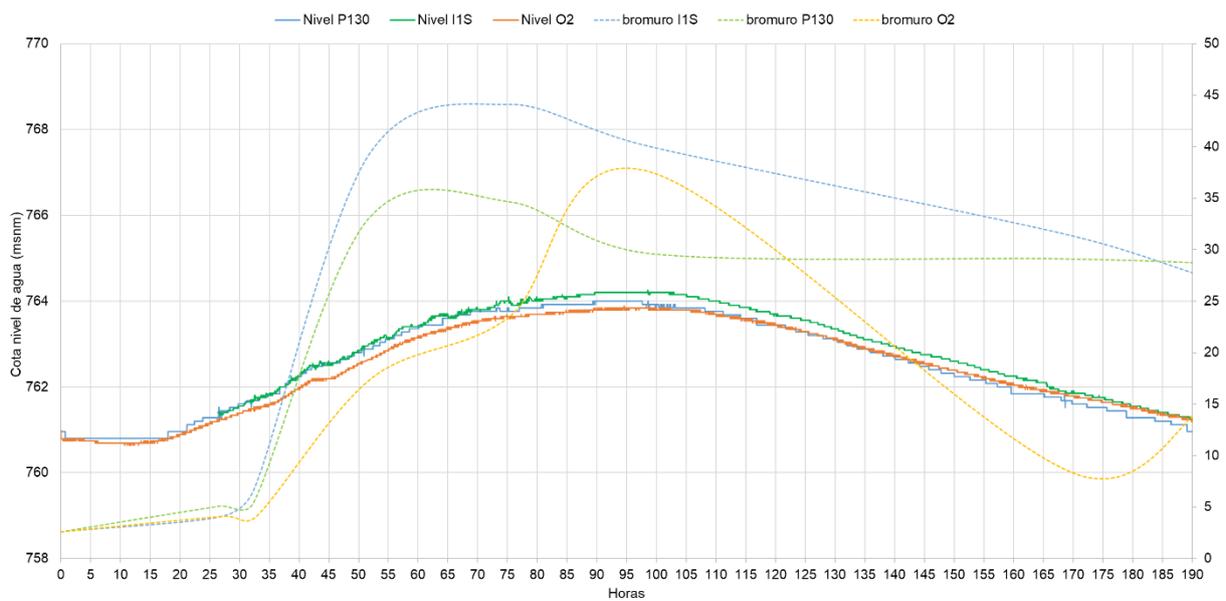
Cabe mencionar que, en general, la persistencia del trazador en el medio es bastante perdurable y no llega a disminuir a valores iniciales hasta pasados más de 5 días del ensayo en ausencia de precipitaciones.

En las siguientes gráficas se enfrenta la evolución de los niveles de agua y de la concentración de bromuro en alguno de los sondeos monitorizados con mayor conexión dentro de la capa M (P172, P81 y P55 de Zona 0 a Barranco 3, y P130, I1S y O2 en Zona de Barrera), con el objetivo de ver la relación de los tiempos de tránsito de los trazadores respecto a la subida de niveles detectada.

Gráfica 50. Evolución de niveles vs concentración de bromuro sondeos Zona 0 a Barranco 3



Gráfica 51. Evolución de niveles vs concentración de bromuro sondeos Zona Barrera



El efecto de la infiltración de los volúmenes de agua provoca un frente de avance que se materializa en primer lugar por un ascenso de los niveles a causa del aumento de la presión hidráulica en la red de fracturación, proceso que se produce más rápidamente que por la propia velocidad del flujo de agua subterránea, como se ve con la llegada del trazador a los sondeos.

Así mismo, el pico máximo de concentración del trazador en los sondeos situados a una cierta distancia de la balsa (a partir de los 20 m como mínimo), se produce antes de que los sondeos registren su nivel de agua máximo a consecuencia de la infiltración (en los sondeos bien conectados, se amplía el retardo a medida que aumenta la distancia con la balsa).

En sondeos peor o parcialmente conectados, como se ve con O2, se evidencia un comportamiento diferenciado en función de la litología en profundidad. En este caso en concreto, se aprecia claramente el cambio de lutita a arenisca del sondeo a la cota de 763,7 msnm aproximadamente según los registros de la testificación.

7.3.4 Conclusiones del ensayo de trazadores

A partir de los datos tomados durante el ensayo de trazadores, ha sido posible estimar diferentes parámetros de los sondeos a lo largo de la capa M en función de su respuesta a los caudales infiltrados desde la balsa situada en el vaso.

Por ejemplo, se han obtenido los caudales de infiltración de los sondeos de la balsa en las distintas fases del desarrollo del ensayo, así como los tiempos de tránsito de los trazadores a través de la red de fracturación, las profundidades de circulación preferente, y velocidades del flujo de agua subterránea. Por otro lado, se ha podido verificar la mayor o menor conexión de los sondeos existentes en ese momento con la capa M.

Cabe destacar que estos parámetros pueden haber variado con la perforación de los nuevos sondeos realizados con posterioridad en la Zona 0. No obstante, en julio de 2024 se va a realizar, con la participación de la Universidad Complutense de Madrid (grupo INPROQUIMA), un ensayo de trazadores ampliado en función de la configuración de la red de control más actual.

8. Ensayos de biorremediación

En 2023 se ha seguido la línea de trabajos para la biorremediación comenzada en los años anteriores en el emplazamiento, con el objetivo de continuar caracterizando el acuífero desde el punto de vista microbiológico, de cara a evaluar la aplicación de diferentes tratamientos de biorremediación.

Desde el año 2017, se ha venido construyendo un modelo conceptual microbiológico del emplazamiento mediante el empleo de herramientas biológicas moleculares y análisis isotópicos, que, en conjunto, engloban una serie de técnicas que permiten obtener múltiples líneas de evidencia para entender los mecanismos degradativos existentes en el acuífero.

Este tipo de estudios ha demostrado la existencia de procesos de biodegradación de los contaminantes de interés en diferentes zonas con elevados potenciales asociados a diferentes mecanismos de degradación, o la presencia de comunidades microbianas diversas bajo las condiciones reales existentes en el acuífero.

De manera paralela a la caracterización microbiológica in situ, desde el año 2020 se ha estudiado la viabilidad de implantación de sistemas de biorremediación desarrollados a partir de recursos autóctonos, como un biorreactor. La evidencia es que este tipo de sistema puede ser viable en zonas del acuífero menos impactadas y con baja conexión hidráulica, y servir como punto de partida para ir tratando progresivamente otras zonas del acuífero.

Para ello, se han ido escalando los trabajos desde el laboratorio y proponiendo nuevos ensayos que permitan sentar las bases para el desarrollo de un sistema de biorremediación en campo eficaz y adaptado a las condiciones del medio. A continuación, se detallan los principales trabajos de biorremediación desarrollados en 2023 en laboratorio y en campo.

8.1 Trabajos de biorremediación desarrollados en laboratorio

8.1.1 Ensayo de bioestimulación con agua de P168

Desde el año 2021 se han venido realizando distintos estudios de laboratorio para el desarrollo, escalado y posterior implantación de un biorreactor en campo como sistema piloto de remediación. En las primeras etapas del proceso se llevaron a cabo estudios de diferentes muestras y, finalmente, se planteó como potencial ubicación el sondeo P168 en el Barranco Este del vaso desmantelado, que se encuentra perforado en limolitas.

De acuerdo con este objetivo final, en 2023, según la propuesta de ensayos para la biorremediación presentada a la Dirección Facultativa, se continuaron los ensayos en laboratorio, comenzando con ensayos de bioestimulación con agua del sondeo P168. Estos ensayos persiguen mejorar el rendimiento en la degradación biológica del HCH, optimizando la disponibilidad de nutrientes, así como otros factores que puedan ser limitantes en el emplazamiento o ayuden a la biodisponibilidad del propio contaminante.

Los ensayos comenzaron en marzo de 2023 y se efectuaron en matraces Erlenmeyer de 500 ml en un incubador con agitación orbital que dispone de una plataforma con 9 posiciones para los matraces. En cada uno de los matraces se pretendía evaluar el efecto de diferentes enmiendas o condiciones sobre la actividad microbiana.

Existen factores limitantes de esta actividad, como pueden ser la escasa concentración de nutrientes esenciales, la baja disponibilidad de los contaminantes de naturaleza orgánica en el entorno del microorganismo (acuoso), la falta de aceptores adecuados de electrones, no disponer de unas condiciones medioambientales adecuadas (pH, conductividad, potencial redox) o bien la falta de poblaciones microbianas con potencial enzimático degradador para el compuesto contaminante.

Con estas enmiendas se pretendía optimizar la disponibilidad de nutrientes (carbono, nitrógeno y/o fósforo), así como proporcionar otras condiciones que pueden ser favorables para la degradación de los contaminantes como, por ejemplo, aumentar la concentración de oxígeno en el agua subterránea o tratar de favorecer la biodisponibilidad de los contaminantes con el uso de surfactantes.

Para poder definir los tratamientos a ensayar, previamente al inicio del ensayo se llevó a cabo una caracterización del contenido en contaminantes y nutrientes del agua del sondeo P168 con la que establecer las condiciones iniciales del ensayo y poder definir qué parámetros sería necesario ajustar en los experimentos posteriores y en que magnitud habría que hacerlo.

Los resultados de la caracterización inicial de los nutrientes se muestran en la siguiente tabla. En ella, se puede observar que la relación de los nutrientes carbono, nitrógeno y fósforo (C:N:P) era 100:19,3:0. Esta relación evidencia una deficiencia de fósforo en la muestra de partida, para la cual teóricamente sería recomendable que se encontrara en una proporción 100:10:1, para favorecer los procesos de biodegradación. Esta situación permitió identificar la disponibilidad de fósforo como una condición limitante que convendría ajustar en todas las condiciones al estar ausente en la muestra original.

Tabla 46. Concentraciones (mg/l) de nutrientes en el agua del sondeo P168

	C	N	P	K
	5,7	1,1	0	5,5
Relación C:N:P	100	19,3	0	-

En función de esta caracterización previa se definieron de manera definitiva cada una de las condiciones a ensayar durante el experimento de bioestimulación, las cuales se incluyen en la siguiente tabla. Además de las condiciones a evaluar, se incluyeron una serie de controles tanto bióticos como abióticos (posiciones 1 a 4) para evaluar la contribución de diferentes factores a la posible degradación de los contaminantes.

Tabla 47. Condiciones estudiadas durante el ensayo de bioestimulación en el incubador orbital

Condición - Matraz	Descripción
IO1	Agua P168: control biótico
IO2	Agua P168: control biótico + inyección O ₂
IO3	Agua P168 e: control abiótico
IO4	Agua P168e: control abiótico + inyección O ₂
IO5	Agua P168 + ajuste nutriente P [C:N:P = 100:20,2:1]
IO6	Agua P168 + ajuste nutrientes P [C:N:P = 100:20,2:1]+ surfactante
IO7	Agua P168 + ajuste nutrientes P [C:N:P = 100:20,2:1] + inyección O ₂
IO8	Agua P168 + ajuste nutrientes C y P [C:N:P = 100:10:1]
IO9	Agua P168 + ajuste nutrientes C y P + inyección O ₂ [C:N:P = 100:10:1]

En las condiciones IO5, IO6 e IO7 se añadió fósforo, ausente en la muestra, para que la relación C:P fuera 100:1. Para este ajuste se añadió fosfato diamónico ((NH₄)₂HPO₄). Como esta sal también aporta nitrógeno, la relación definitiva en estas condiciones quedó como 100:20,2:1.

En las condiciones IO8 y IO9 se iba a probar la estimulación mediante la adición en exceso de una fuente de carbono de alta degradabilidad como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). Esto implica el ajuste del resto de nutrientes para que quede una relación de, al menos, 100:10:1. Las sales utilizadas en estos casos serán urea ($CO(NH_2)_2$) como fuente de nitrógeno y fosfato diamónico ($(NH_4)_2HPO_4$) como fuente de fósforo y nitrógeno.

Hay que señalar que la condición IO6 se caracteriza por la adición de un surfactante como agente de mejora de la biodisponibilidad de los contaminantes para los microorganismos. El agente surfactante elegido fue *Tween* 80 que, tras una consulta bibliográfica, se decidió añadirlo en una concentración de 0,4 g/l.

En las condiciones IO2, IO4, IO7 e IO9 se iba a estudiar la inyección de oxígeno en exceso, ya que éste es un agente estimulador del metabolismo aerobio de los microorganismos y se cree que puede ser un factor interesante que mejore la degradación microbiológica.

Las muestras para inicio del experimento en el incubador orbital fueron tomadas en campo y preparadas en laboratorio el 7 de marzo de acuerdo con las condiciones de la tabla anterior.

Tras la preparación y muestreo inicial, el incubador quedó configurado con temperatura y agitación constante para que estuviera funcionando durante el tiempo estimado de duración del experimento (alrededor de dos meses). A lo largo de este tiempo, se había planteado hacer diferentes muestreos de evolución, tras cada uno de los cuáles las muestras se llevaban de nuevo al incubador para continuar con la incubación. De estos muestreos se llevaban a cabo las siguientes determinaciones:

- Análisis de microorganismos (en condiciones estériles):
 - Recuento de microorganismos aerobios totales en medio de agar nutriente (denominado como G, de medio genérico).
 - Recuento de microorganismos aerobios totales en medio mínimo con los contaminantes de interés como fuente de carbono (denominado como MM, de medio mínimo).
- Determinación de parámetros físico-químicos.
- Análisis de contaminantes en laboratorio.

El ensayo comenzó el 7 de marzo, tomando en esta fecha las muestras necesarias para las determinaciones anteriormente descritas. Posteriormente, se realizó un segundo muestreo de evolución el día 11 de abril. Tras el muestreo los matraces se mantuvieron en agitación hasta la valoración de los resultados del análisis de las muestras con los que decidir si se continuaba o no con el ensayo.

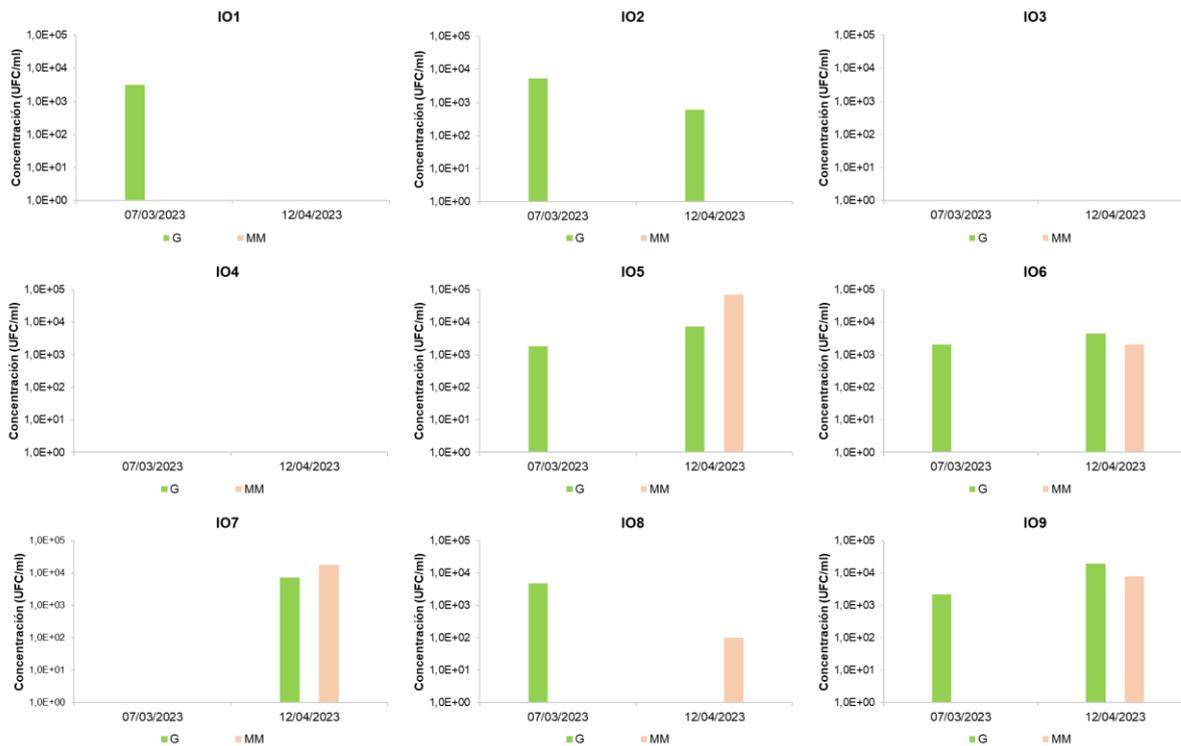
Figura 37. Trabajos realizados durante el ensayo de bioestimulación de laboratorio



Resultados del ensayo

Los resultados de la caracterización microbiológica realizada se muestran en la gráfica siguiente, donde se detalla el número viable y cultivable de microorganismos obtenidos en el medio genérico (G) y en el medio mínimo (MM) en los muestreos realizados el 7 de marzo y el 12 de abril.

Gráfica 52. Evolución de la concentración de microorganismos (UFC/ml) en cada una de las condiciones estudiadas



De los resultados obtenidos, en general, se puede observar que las concentraciones de microorganismos se encontraban en los dos muestreos y para todas las muestras por debajo de 10^5 UFC/ml, considerándose estos valores bajos-moderados. De todas las condiciones ensayadas, tan solo se puede se produjo un aumento de la actividad microbiana en los matraces IO5, IO6, IO7 e IO9. Todas estas condiciones tienen en común el uso la adición de fósforo como nutriente, lo que podría señalar que el ajuste de este nutriente sería positivo para los microorganismos del acuífero. El resto de condiciones no parecen resultar en un efecto beneficioso para las concentraciones de microorganismos, obteniendo resultados más erráticos y de los que en muchos casos es difícil establecer conclusiones.

Cabe mencionar que las condiciones IO3 e IO4 (que constituyen los matraces de control abiótico) no fueron caracterizadas microbiológicamente al inicio del ensayo. En estos casos se realizó únicamente el muestreo posterior de seguimiento correspondiente al t_1 . En este muestreo se puede observar que no se cuantificaron microorganismos en ninguno de los medios, lo que confirma que se ha trabajado en todo momento en condiciones de máxima esterilidad y que no se ha producido una contaminación de las muestras.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de las concentraciones de HCH total en los muestreos a t_0 y t_1 , incluyéndose la reducción de la concentración inicial tras el segundo muestreo.

Tabla 48. Concentraciones de HCH total ($\mu\text{g/l}$) en los diferentes muestreos de evolución realizados

Condición	HCH total t_0	HCH total t_1	% disminución HCH
IO1	85,01	3,11	96,35%
IO2	89,85	7,53	91,62%

Condición	HCH total t0	HCH total t1	% disminución HCH
IO3	132,27	33,35	74,79%
IO4	141,00	19,09	86,47%
IO5	110,93	5,02	95,47%
IO6	47,50	5,60	88,21%
IO7	70,21	3,36	95,21%
IO8	68,07	0,10	99,85%
IO9	66,04	1,54	97,67%

Como se puede observar en la tabla anterior, existe una disminución de la concentración de HCH entre ambos muestreos en todas las condiciones ensayadas, independientemente de si era o no condiciones de control. Esto podría significar que la acción microbiana no era la razón por la cual las concentraciones de HCH disminuían.

De los resultados anteriores se puede observar que todos los matraces experimentaron una reducción muy significativa de las concentraciones de HCH. Este hecho impide sacar conclusiones esclarecedoras acerca de que condición podría incentivar en mayor medida la degradación de los contaminantes por procesos de biodegradación, ya que incluso los matraces de control abiótico presentaban reducciones elevadas. Lo anterior parece apuntar a que existiría una variable común en todas las condiciones ensayadas que tendría más peso que cada una de las enmiendas evaluadas.

En este sentido, cabe destacar que durante el desarrollo del ensayo se observó una reducción progresiva de los volúmenes de los matraces a lo largo del tiempo, probablemente relacionada por el efecto combinado de la agitación y temperatura de incubación. Este hecho podría apuntar a que pudieran existir procesos de volatilización de los contaminantes que tienen una importante contribución en la reducción observada de las concentraciones, pudiendo ser de mayor peso que los procesos microbiológicos.

Por lo general, los resultados obtenidos a lo largo del ensayo son poco reproducibles entre condiciones y hacen difícil valorar la estimulación de los procesos de biodegradación a partir de los resultados obtenidos. Es por ello que tras el segundo muestreo se decidió no continuar con el ensayo y buscar alternativas para mejorar su ejecución que minimicen los factores desfavorables identificados en esta primera parte del trabajo.

Parece que, dentro de los factores limitantes identificados, los procesos de volatilización de los contaminantes derivados de la evaporación del agua de los matraces podrían haber sido la causa principal que explicaría las reducciones observadas en las concentraciones de contaminantes.

8.1.2 Ampliación de los estudios de caracterización en laboratorio para la implantación de un biorreactor en campo

En conjunto con la Dirección Facultativa, en marzo de 2023 se valoró la posibilidad de reubicar la implantación del biorreactor de campo directamente sobre la capa M.

Debido a este nuevo planteamiento, fue necesario llevar a cabo una caracterización previa de muestras de posibles puntos con características adecuadas para poder seleccionar qué punto podía resultar el mejor candidato para continuar con los estudios de biorremediación planteados.

Para ello, se propuso como nueva ubicación alguno de los sondeos ubicados en capa M en el Barranco Este del vaso desmantelado, debido principalmente a dos aspectos:

- Son puntos aguas arriba de los principales focos de afección (Barranco Oeste y Zona 0) y, por tanto, con concentraciones moderadas de contaminantes en los que sería viable plantear procesos de biorremediación.

- La zona del Barranco Este se encuentra aguas arriba de las principales zonas donde se han concentrado la mayoría de los trabajos de remediación en los últimos años, teniendo unas condiciones más estables a lo largo del tiempo. Este hecho se considera de vital importancia para la implantación de tratamientos de biorremediación que requieren tiempos elevados de actuación.

Cumpliendo los requisitos anteriores, se seleccionaron 6 sondeos ubicados sobre la capa M en el Barranco Este del vaso desmantelado: P217, P178, P218, P219, P177 y P220.

Figura 38. Localización de los nuevos puntos propuestos para la reubicación del biorreactor



Previamente a la toma de las muestras, a principios del mes de mayo de 2023 se desarrollaron todos los sondeos para limpiarlos de finos y de posibles restos de enmiendas inyectadas en ensayos de años anteriores, como persulfato.

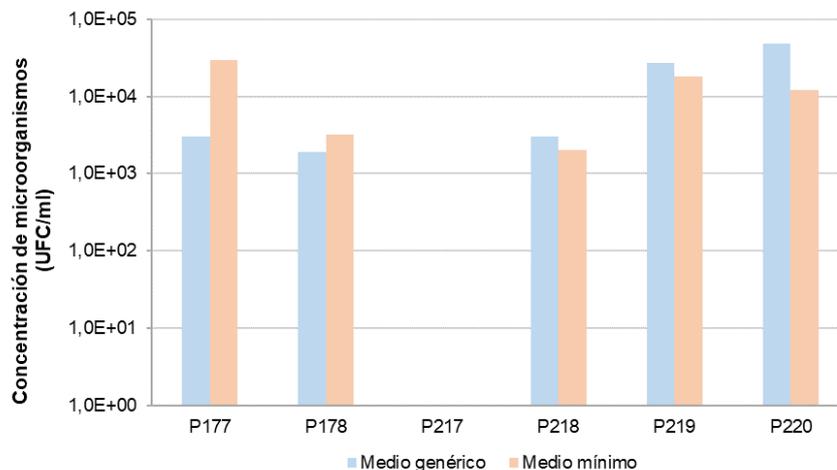
Una vez recuperadas las condiciones iniciales, el día 22 de mayo se tomaron muestras de agua con bomba *bladder* y tubería desechable de un solo uso y las muestras se caracterizaron en el mismo día de su toma para realizar las siguientes determinaciones:

- Parámetros físico-químicos (medidos in situ mediante sonda multiparamétrica).
- Concentraciones de contaminantes orgánicos volátiles y semivolátiles (Pirenarium).
- Concentraciones de nutrientes N, K, P y C (Pirenarium).
- Concentraciones de microorganismos viables y cultivables en medio genérico y medio mínimo (laboratorio de microbiología).

Resultados obtenidos

En la siguiente gráfica se muestran los datos obtenidos de la caracterización microbiológica.

Gráfica 53. Caracterización microbiológica de los sondeos candidatos a nueva ubicación del biorreactor



De los resultados obtenidos se puede observar que la mayoría de las muestras presentaron concentraciones de microorganismos entre 10^3 y 10^4 UFC/ml, con la única excepción del sondeo P217, en el cual no se obtuvieron recuentos de microorganismos viables.

Los valores de los recuentos son indicativos de una actividad microbiana moderada que son coherentes con las concentraciones de microorganismos detectadas en el agua subterránea del acuífero de Bailín. No obstante, valores por encima de 10^3 UFC/ml se consideran concentraciones viables para plantear posibles experimentos de bioestimulación y, por tanto, la mayoría de las muestras tendrían una flora microbiana suficiente para ser empleadas en las siguientes etapas del proceso.

En las tablas a continuación se muestran los principales resultados de la caracterización de contaminantes principales (benceno, clorobenceno y HCH) y de nutrientes realizada en el laboratorio de Pirenarium. En este caso, se puede observar que las concentraciones de contaminantes fueron similares en todos los puntos y adecuadas para plantear tratamientos de biorremediación.

Tabla 49. Concentraciones de contaminantes principales ($\mu\text{g/l}$) en las muestras seleccionadas para el estudio del biorreactor

Punto	Benceno	Clorobenceno	a-HCH	b-HCH	g-HCH	d-HCH	e-HCH	HCH total
P177	0,36	3,13	7,22	1,62	9,66	14,06	13,57	46,13
P178	<0,10	<0,10	1,04	0,57	3,6	6,02	1,7	12,93
P217	<0,10	0,78	4,31	0,86	2,03	18,58	4,01	29,79
P218	0,22	11,76	7,92	1,21	9,81	44,5	11,1	74,54
P219	<0,10	0,38	0,13	0,62	0,19	0,15	5,09	6,18
P220	<0,10	0,28	0,74	4,15	1,58	0,11	49,88	56,46

En cuanto al contenido de nutrientes, la relación C:N:P mostró una clara deficiencia de nitrógeno y, en especial, de fósforo, al obtenerse valores de 100:(2-6):0, que son inferiores a la proporción deseable en muestras microbiológicas ambientales (100:10:1).

Tabla 50. Concentraciones de nutrientes principales en las muestras seleccionadas para el estudio del biorreactor

Punto	Parámetro	C	N	P
P177	Concentración (mg/l)	7,06	0,42	0,00
	C:N:P	100,00	5,95	0,00
P178	Concentración (mg/l)	8,03	0,22	0,00
	C:N:P	100,00	2,74	0,00
P217	Concentración (mg/l)	4,15	0,21	0,00
	C:N:P	100,00	5,06	0,00
P218	Concentración (mg/l)	6,35	0,29	0,00
	C:N:P	100,00	4,57	0,00
P219	Concentración (mg/l)	5,69	0,13	0,00
	C:N:P	100,00	2,28	0,00
P220	Concentración (mg/l)	7,84	0,31	0,00
	C:N:P	100,00	3,95	0,00

De este modo, se seleccionó la muestra de P177 para iniciar nuevo ensayo de bioestimulación en matraces Erlenmeyer con el agua del sondeo elegido como continuación del anterior ensayo de estas características efectuado en el mes de marzo.

8.1.3 Ensayo de bioestimulación con agua de P177

Con la ayuda de los especialistas en microbiología del Centro Tecnológico Gaiker, se rediseñó el ensayo de bioestimulación eliminando la aireación para intentar disminuir la influencia de la volatilización, y para ello se empleó agua del sondeo P177 como base.

En concreto, se configuraron 8 condiciones diferentes, entre las cuales se incluyeron un control biótico, un control abiótico y diferentes ajustes de carbono, nitrógeno y/o fósforo, despendiendo de la condición.

Tabla 51. Configuración del ensayo de bioestimulación en el incubador orbital

Condición	Descripción y ajuste de relación C:N:P
IO1	Agua P177e (estéril): control abiótico
IO2	Agua P177: control biótico
IO3	Agua P177 + Ajuste de nutriente P [C:N:P = 100:6,9:1]
IO4	Agua P177 + Ajuste de nutriente P [C:N:P = 100:6,9:1] + surfactante
IO5	Agua P177 + Ajuste de nutrientes N y P [C:N:P = 100:10:1]
IO6	Agua P177 + Ajuste de nutrientes N y P [C:N:P = 100:10:1] + surfactante
IO7	Agua P177 + Ajuste de nutrientes C, N y P [C:N:P = 100:10:1]
IO8	Agua P177 + Ajuste de nutrientes C, N y P [C:N:P = 100:10:1] + surfactante

El ensayo se inició el 20 de junio de 2023 (t0), realizándose un muestreo el 17 de julio (t1) y otro el 28 de agosto (t2), donde se estudiaron los siguientes parámetros:

- Análisis de los principales contaminantes, en el laboratorio de Pirenarium, para estudiar su degradación.
- Análisis de parámetros fisicoquímicos, en el laboratorio de microbiología.
- Caracterización microbiológica, en un medio nutriente genérico (MG) y un medio mínimo configurado con los contaminantes presentes en el acuífero (MM), para conocer el desarrollo de la comunidad microbiana en las diferentes condiciones del ensayo.

De forma paralela, se desarrolló un ensayo similar en el centro tecnológico de Gaiker, con agua del mismo sondeo que la utilizada en el ensayo del incubador de Bailín. No obstante, a pesar de que las muestras utilizadas en ambos ensayos pertenecían al mismo sondeo, la muestra utilizada en el ensayo de Gaiker tuvo concentraciones de contaminantes notablemente inferiores a la del ensayo en Bailín.

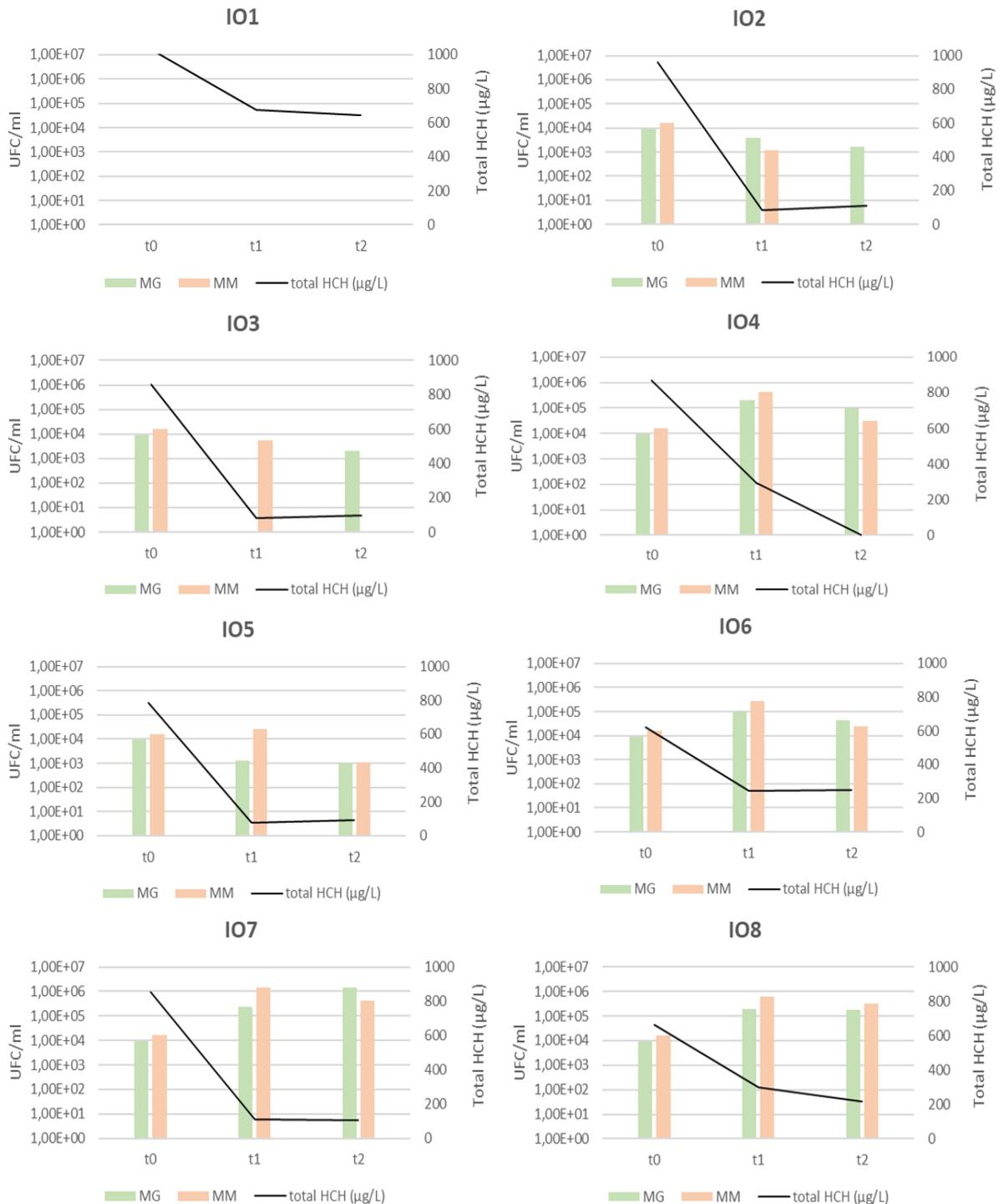
En cualquier caso, a pesar de dicha diferencia, los resultados de degradación de contaminantes y caracterizaciones microbiológicas fueron bastante similares en ambos ensayos, tal y como se comenta a continuación.

Resultados del ensayo

Tal y como se muestra a continuación, los resultados de la caracterización microbiológica fueron favorables en varias de las condiciones estudiadas, existiendo una mayor evidencia en las condiciones 7 y 8, donde pasados dos meses se habían obtenido concentraciones microbianas de entre 10^5 y 10^6 UFC/ml (a t0, antes de arrancar el experimento eran de 10^4 UFC/ml).

Estas dos condiciones que parecían ser más favorables para los microorganismos se configuraron con una solución ajuste de carbono, nitrógeno y fósforo utilizando urea, fosfato diamónico y glucosa. A la condición 8, además de lo anterior, también se le había adicionado *Tween* 80.

Gráfica 54. Evolución de las concentraciones microbiológicas y de HCH en las diferentes condiciones del ensayo del incubador orbital



La inexistencia de microorganismos en todos los tiempos estudiados en la condición 1 (control abiótico) confirmó que el experimento se había realizado en condiciones de esterilidad estrictas. Esta condición se configuró con agua del sondeo P177 autoclavada para eliminar los microorganismos antes de comenzar el ensayo.

Por otro lado, en la figura también se muestra la evolución del HCH total en cada condición. Tal y como se puede observar, en el control abiótico se produjo una disminución de la concentración de HCH, aunque menor que en el resto de condiciones, lo cual puede apuntar a que una parte de la degradación del contaminante se hubiera producido por factores diferentes a la actividad microbiológica.

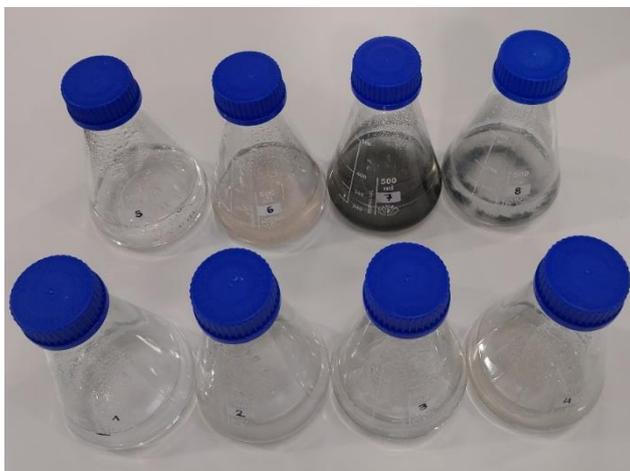
En la condición 2 se puede observar actividad microbiana sin un aumento notable de la misma en el tiempo. Esta condición fue configurada con agua del sondeo sin ningún aditivo, por lo que, según los resultados, parece apuntar a que sin adicionar nutrientes la población microbiana se mantiene en el tiempo. Existe además una disminución de la concentración de HCH similar a la de otras condiciones con adición de nutrientes, aunque no se puede evidenciar que la degradación en las diferentes condiciones fuera más o menos rápida ya que los tiempos de muestreo fueron muy amplios y no permiten ver esta diferencia.

En la condición 3 se puede observar lo que parece un error de siembra o en el análisis, ya que la tendencia de los resultados y otras condiciones similares como la 4 apuntan a que el resultado de 0 UFC/ml no sea coherente para la misma.

En todas las condiciones entre la 4 y la 8 parece haber una disminución de la concentración de HCH muy significativa a la par que un aumento de la actividad microbiana, aunque a la vista de los resultados no se puede discriminar que una condición sea mejor que las demás para la degradación del contaminante, ya que el amplio tiempo entre muestreos no deja ver diferencias en la rapidez en la que se produce la degradación en cada una de las condiciones.

Es de gran importancia destacar que, durante el ensayo, las condiciones 7 y 8 se apreciaban más ennegrecidas que el resto de condiciones, como se puede observar en la siguiente figura, además de tener un olor sulfuroso propio de una fermentación anaeróbica. No hay constancia del momento exacto en el que estas dos condiciones se tornaron más oscuras, pero este cambio se produjo en algún momento entre t0 y t1. Una posible hipótesis para esta situación es que estas dos condiciones se tornaron anaeróbicas en algún momento entre el inicio del ensayo y el tiempo 1, hecho podría estar relacionado con la presencia de glucosa en la configuración de ambas, ya que en el resto de condiciones no se había adicionado glucosa.

Figura 39. Apariencia de las diferentes condiciones del ensayo después de dos meses (t2)



Como conclusión principal del ensayo, parece evidente que en todas las condiciones existe una actividad microbiana asociada a la degradación de contaminantes, aunque una parte de esta degradación se pueda deber a algún proceso externo, como la volatilización. De todas formas, no es posible afirmar que una condición sea mejor que otra en cuanto a la velocidad de degradación ya que los tiempos de muestreo han sido demasiado espaciados como para ver el proceso con detalle.

Por otro lado, existe evidencia de que el ensayo se ha desarrollado en condiciones de esterilidad, debido a la inactividad microbiana de la condición de control abiótico.

En la línea de investigación que se está desarrollando, y a la vista de los resultados en la rápida degradación de contaminantes observada, los tiempos de muestreo parecen estar demasiado espaciados como para poder discernir detalles del proceso, y ser capaces de determinar que alguna de las condiciones sea la mejor que el resto en cuanto a velocidad de degradación.

8.1.4 Ensayo de minibiorreactor de laboratorio para valorar la volatilidad

En octubre de 2023 comenzó un nuevo ensayo haciendo uso del biorreactor de laboratorio (MiniBio), consistente en hacer una prueba de control abiótico con una muestra real, siguiendo el consejo técnico de los expertos del Centro Tecnológico Gaiker.

Previamente, en agosto de 2023 se llevó a cabo una prueba de esterilidad, realizada tras haber recibido una pequeña formación en Gaiker, y en la que se hizo evidente la capacidad del MiniBio de trabajar en condiciones de estricta esterilidad.

Este ensayo se efectuó con el objetivo de estudiar la posible volatilización de contaminantes dentro del biorreactor de laboratorio utilizando una muestra real, así como para comprobar la eficacia del condensador del sistema para evitar dicha volatilización.

A priori, se pretendía utilizar una muestra del sondeo P177, por ser el sondeo utilizado en otros trabajos de laboratorio, como el incubador orbital. Sin embargo, debido a la baja concentración de contaminantes analizada en dicha muestra, finalmente se decidió utilizar una con mayor carga contaminante, para poder monitorizar con mayor claridad las variaciones en las concentraciones. De este modo, se empleó una muestra del sondeo P172 tomada el día 26 de octubre de 2023. Esta muestra se autoclavó una vez recogida y se comenzó la prueba.

Figura 40. Trabajos de preparación del ensayo de volatilización



Siguiendo el objetivo descrito, el condensador del MiniBio trabajó a un 100%, y la concentración de oxígeno disuelto se fijó en un 60% sin inyección de oxígeno, solo con una baja agitación. La temperatura elegida fue 25°C, por ser a la que se trabaja habitualmente.

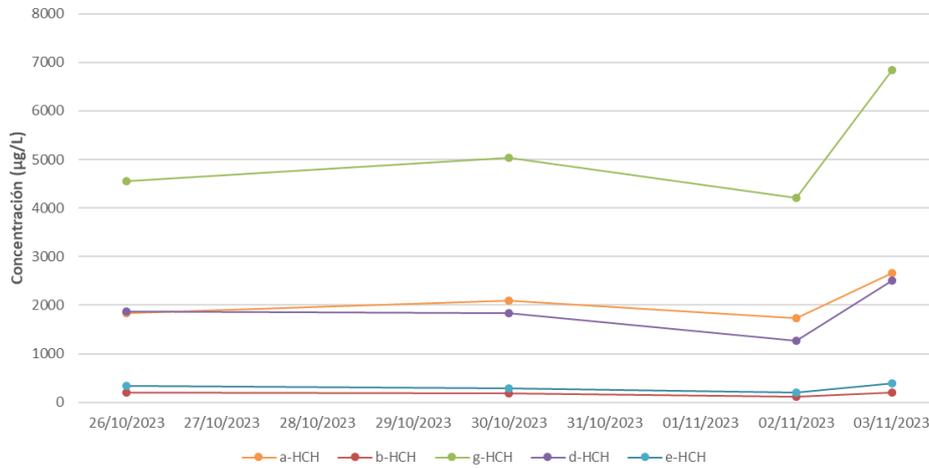
Posteriormente, se tomaron 4 muestras durante el ensayo, en las que se llevó a cabo el análisis de los contaminantes principales, para monitorizar su posible decaída. Por otro lado, se pretendió analizar el posible descenso del volumen de la muestra en el MiniBio de forma manual, el cual no se apreció para este periodo de tiempo.

Figura 41. Monitorización del ensayo en Minibio y toma de muestras



El ensayo finalizó el 3 de noviembre y los resultados de la prueba apuntaron a que, para un periodo de 10 días en las condiciones del MiniBio mencionadas, las concentraciones de HCH no se ven reducidas, lo cual indica que este compuesto no se perdía en este caso debido a procesos de volatilización.

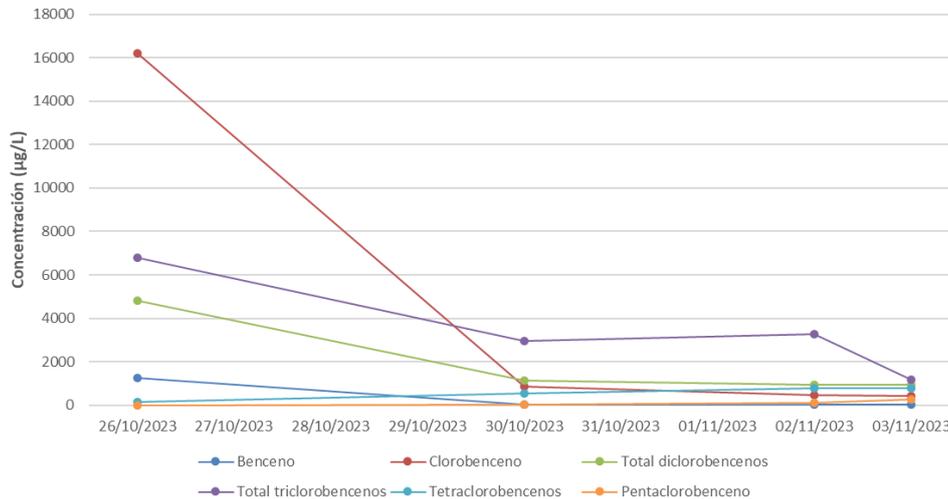
Gráfica 55. Evolución de la concentración de los isómeros de HCH durante la prueba de volatilización



Así mismo, como se puede ver en la gráfica anterior, se detectó un ligero aumento de las concentraciones de varios isómeros (gamma, alfa y delta), lo que podría estar asociado a la variabilidad en la concentración de los contaminantes que se analiza frecuentemente dentro de una misma muestra. No obstante, al no registrarse una tendencia decreciente, se podría apuntar a que aparentemente no existe una pérdida de concentraciones de HCH por volatilización.

En el caso de los compuestos más volátiles, las concentraciones sí que mostraron una clara tendencia de disminución en el periodo de tiempo monitorizado. Esta disminución podría estar relacionada con una volatilización de dichos compuestos, debido a su naturaleza más volátil.

Gráfica 56. Concentración de benceno y clorobencenos durante la prueba de volatilización



Adicionalmente, se analizó también el contenido en fosfato, carbono orgánico total (TOC), y nitrógeno al inicio y al final del ensayo en la muestra de P172 autoclavada, obteniéndose los siguientes datos:

Tabla 52. Concentración nutrientes (P, TOC, TN)

Muestreo	Fosfato (mg/l)	TOC (mg/l)	TN (mg/l)
t0	<0,1	243,6	2,88
t3	<0,1	151,4	2,99

De este modo, con los resultados obtenidos, se pudieron extraer las siguientes conclusiones:

- El condensador parece ser efectivo cuando trabaja al 100%, al menos durante 10 días, ya que la reducción del volumen de la muestra parecía ser despreciable.
- Las concentraciones de HCH no tienen una variación significativa en las condiciones del MiniBio en un periodo de 10 días.
- Las concentraciones de nutrientes importantes para la actividad microbiana (fósforo, nitrógeno y carbono orgánico total) tampoco muestran variaciones significativas en este periodo de tiempo.
- En cambio, sí que se observa una disminución en la concentración de los compuestos más volátiles (bencenos, clorobencenos) que sí podría relacionarse con un proceso de volatilización debido a la naturaleza de estos compuestos.

8.2 Ensayos piloto de biorremediación en campo

8.2.1 Ensayo de bioestimulación en campo

En el mes de diciembre de 2022 dieron comienzo los trabajos previos asociados a un ensayo de bioestimulación en la Zona de Barrera mediante la aplicación de diferentes tratamientos (inyección de aire y temperatura) con el objetivo de incentivar la actividad microbiana en condiciones reales de campo.

Para evaluar las condiciones iniciales, se efectuaron tres campañas de muestreo los días 19 de diciembre de 2022, 24 de enero y 7 de febrero de 2023, en las cuales se midieron los parámetros físico-químicos y se analizó la carga contaminante y el número total de microorganismos aerobios cultivados en un medio mínimo que contenía los contaminantes de interés presentes en el emplazamiento.

Figura 42. Trabajos asociados al ensayo de bioestimulación en la Zona de Barrera



Los resultados de las tres campañas revelaron un contenido muy bajo de microorganismos aerobios en la mayoría de sondeos, con valores cercanos o inferiores a 103 UFC/ml. Estos valores fueron especialmente bajos en aquellos puntos ubicados en limolitas, donde en la mayoría de los casos no se llegaban a detectar concentraciones de microorganismos viables y cultivables o, en caso de hacerlo, dichas concentraciones fueron significativamente inferiores a las observadas en los puntos de la capa M, donde el sondeo O2 presentó las poblaciones más ricas de microorganismos.

Por otro lado, las concentraciones de contaminantes y, en especial los parámetros físico-químicos de estos sondeos, mostraron diferencias con los valores habituales que se suelen registrar cuando el acuífero se encuentra en equilibrio. Así, se registraron valores elevados de conductividad, oxígeno disuelto y potencial redox, y un pH ligeramente ácido.

En la tabla a continuación se presentan los parámetros físico-químicos detectados en el último muestreo realizado en febrero de 2023 para los puntos de actuación y seguimiento seleccionados para el ensayo. Tal y como se observa, los puntos I4, O3, O4 y, en menor medida, B1, presentaron valores anómalos de estos parámetros.

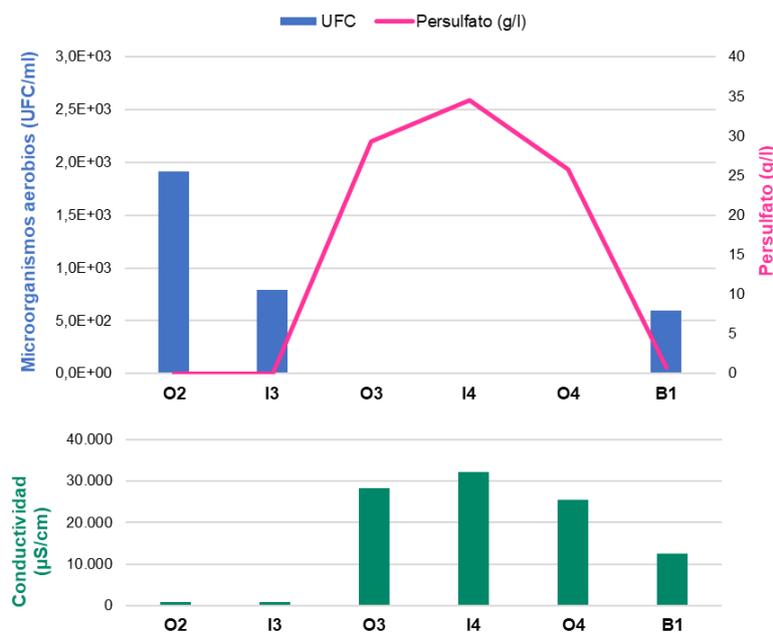
Tabla 53. Parámetros físico-químicos ensayo de bioestimulación en campo (7 de febrero 2023)

Sondeo	Profundidad muestreo (m)	pH	Conductividad (µS/cm)	Potencial redox (mV)	Oxígeno disuelto (mg/l)	Turbidez (NTU)
O2	35	7,21	929	6,7	0	-77
I3	35	8,15	759	11,1	7	5
O3	35	6,88	28.380	12,0	28	350
I4	35	6,78	32.210	12,0	30	415
O4	35	6,74	25.516	11,8	28	384
B1	35	7,28	12.500	11,2	0	365

Debido a que los resultados obtenidos parecían indicar la presencia de oxidante residual en los sondeos (cabe recordar que en estos puntos se han llevado a cabo inyecciones años en anteriores), se llevó a cabo un análisis de persulfato para determinar su presencia en el agua subterránea.

En la siguiente gráfica se muestran los resultados obtenidos en las muestras analizadas. Se muestran sobre la misma gráfica las UFC/ml en cada una de las muestras analizadas, la concentración de persulfato detectada y, en el panel inferior, los valores de conductividad obtenidos en las medidas de campo.

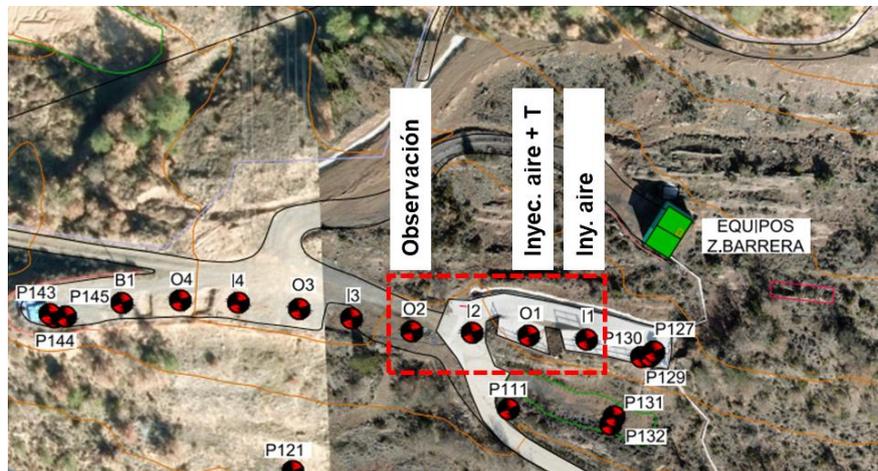
Gráfica 57. Concentraciones de microorganismos (UFC/ml), persulfato (g/l) y conductividad (µS/cm) sondeos ensayo bioestimulación



Tal y como se puede observar, los sondeos O3, I4 y O4 presentaron concentraciones elevadas de persulfato, cercanas a los 30 g/l, mientras que en B1 se detectaron concentraciones en torno a 1 g/l. Estos resultados son coherentes con las bajas concentraciones (o nulas) de microorganismos detectadas en estos sondeos, cuya presencia es incompatible con la presencia de oxidante, ya que este tipo de compuestos inhibe el crecimiento de los microorganismos.

De acuerdo con estos resultados, se propuso llevar a cabo el ensayo en otros sondeos de la capa M, dentro de la misma Zona de Barrera. Así, se seleccionaron los puntos I1, O1 y O2, de los cuales O2 se tomó como punto de control aguas abajo, mientras que en el sondeo I1 se aplicó aireación y en O1 aireación y temperatura. La ubicación y los tratamientos llevados a cabo en cada uno de los puntos se muestra en la siguiente figura.

Figura 43. Zona de ensayo y tratamientos llevados a cabo en el ensayo de bioestimulación en campo



El ensayo se inició el 12 de abril y se extendió hasta el 18 de mayo. Para evaluar la eficiencia del tratamiento, se efectuaron muestreos de caracterización antes, durante y después del ensayo. Aunque el tratamiento de aireación se finalizó el 18 de mayo, se realizaron dos muestreos posteriores más para poder estudiar la evolución de los microorganismos tras cesar el tratamiento. Cabe señalar que en el punto O1 el difusor empleado para la aireación se obtuvo entre los 2 y el 8 de mayo, impidiendo la aireación de aire en el sondeo entre estas fechas.

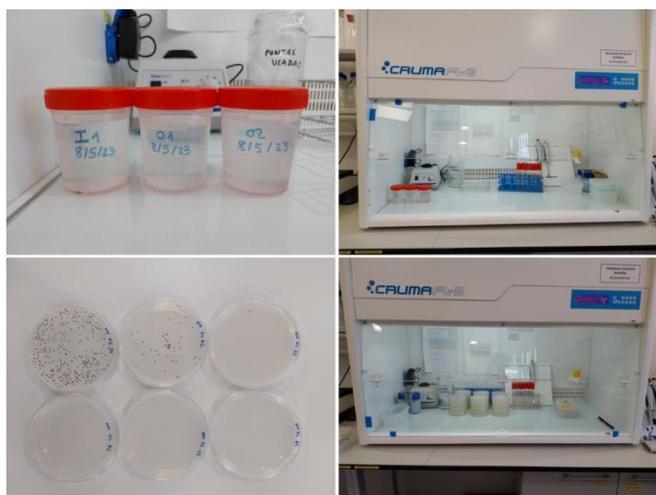
Tabla 54. Cronograma de las actuaciones del ensayo de aireación en la Zona de Barrera

Actuación	Fecha
Baseline t0	03/04/2023
Inicio de la aireación	12/04/2023
Muestreo t1	25/04/2023
Muestreo t2	02/05/2023
Muestreo t3	08/05/2023
Muestreo t4	15/05/2023
Parada aireación	18/05/2023
Muestreo t5	23/05/2023
Muestreo t6	29/05/2023

En todos los muestreos se empleó una bomba *bladder* para la extracción de las muestras a la profundidad de aplicación del tratamiento. En el momento de la toma de la muestra se efectuó la caracterización fisicoquímica in situ de la misma, y posteriormente se enviaron las muestras en el mismo día al laboratorio de Pirenarium para la determinación de los contaminantes y al laboratorio de microbiología para la caracterización microbiológica.

Para la caracterización microbiológica se sembraron y cultivaron muestras en dos medios de cultivo distintos, de los cuales se puede obtener información de la biomasa viable y cultivable total (medio genérico; abreviado en adelante como MG) y especializada (medio mínimo; MM).

Figura 44. Trabajos de caracterización microbiológica dentro del ensayo de bioestimulación



Resultados del ensayo

En la tabla a continuación se muestra la evolución de los parámetros físico-químicos medidos en cada uno de los muestreos realizados (t₀ a t₆) en los puntos de actuación (I1 y O1) y en el punto de control aguas abajo (O2). Se ha señalado sobre la misma tabla el periodo en el cual estuvieron activos los tratamientos en los puntos de actuación.

Tabla 55. Evolución de los parámetros físico-químicos a lo largo del ensayo

Punto	Muestreo	pH	Conductividad (µS/cm)	Redox (mV)	OD (mg/l)	Temperatura (°C)
I1	t ₀	6,43	917	-105	0,28	11,7
	t ₁	7,11	1.116	-25	5,06	13,9
	t ₂	8,14	1.071	-34	5,37	13,5
	t ₃	6,83	1.246	-46	4,62	14,5
	t ₄	8,12	1.300	-55	4,65	13,8
	t ₅	7,22	1.384	43	2,9	14,0
	t ₆	6,56	1.478	-111	0,00	15,2
O1	t ₀	6,64	1.300	-145	0,00	8,9
	t ₁	7,88	925	-14	4,63	15,0
	t ₂	7,65	1.098	-35	5,39	13,6
	*t ₃	6,52	1.275	-91	0,36	15,8
	t ₄	8,3	1.146	-64	4,14	13,4
	t ₅	6,65	1.502	-120	1,17	14,9
	t ₆	6,57	1.730	-107	0,60	17,3
O2	t ₀	6,66	987	-157	0,00	12,3
	t ₁	7,01	1.182	-97	0,00	14,5
	t ₂	7,44	1.144	-110	3,15	11,8
	t ₃	6,82	1.524	-98	0,11	14,8
	t ₄	6,86	1.525	-108	0,44	13,4
	t ₅	6,80	1.795	-90	3,72	13,8
	t ₆	6,47	2.250	-93	0,30	16,6

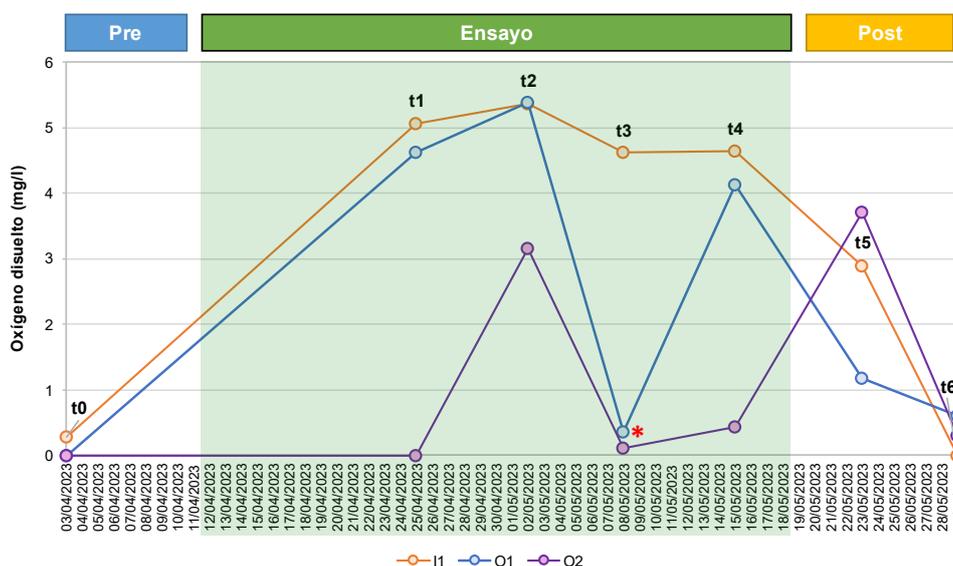
* No hubo aireación entre el día 02/05/23 y el día 08/05/2023 debido a la obturación del difusor

Tal y como se puede observar, en particular en los sondeos de actuación existen ligeras variaciones de los parámetros físico-químicos durante el ensayo a raíz de los tratamientos aplicados al acuífero. Por ejemplo, es notable el aumento de la concentración de oxígeno disuelto a causa de la aireación de la columna de agua hasta alcanzar valores entre 4-5,5 mg/l, que vuelven a descender una vez cesa la inyección de aire.

Este hecho corroboraría que los caudales de inyección de aire seleccionados para el ensayo (entre 2 y 3,5 m³/h) son suficientes para oxigenar la columna de agua del sondeo y proporcionan concentraciones de oxígeno que a priori serían interesantes para poder incentivar las actividad microbiana y los procesos de biodegradación por vía aeróbica.

En la siguiente gráfica se muestra la evolución de la concentración de oxígeno disuelto en los sondeos seleccionados para la monitorización del ensayo. En este caso es coherente la detección de menores concentraciones promedio de oxígeno en el sondeo de observación O2, donde no se aplicó ningún tipo de tratamiento, y el descenso observado en O1 durante la obturación del difusor.

Gráfica 58. Evolución de la concentración de oxígeno disuelto a lo largo del ensayo



* No hubo aireación entre el día 02/05 y el día 08/05/2023 debido a la obturación del difusor

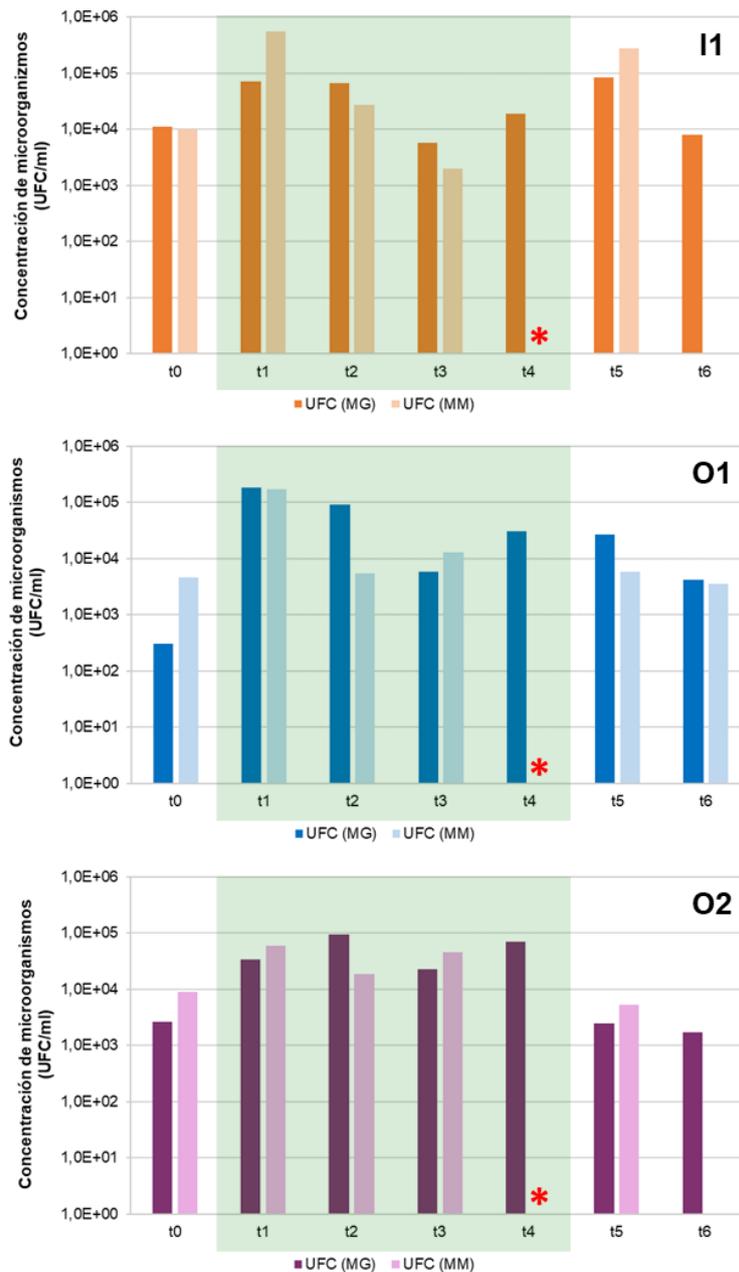
En cuanto al resto de parámetros, también es posible observar ligeros aumentos en el potencial redox, la conductividad y el pH. En este último caso, es interesante observar un aumento de los valores de pH hacia valores ligeramente alcalinos debido al proceso de aireación y la formación de carbonatos.

Por otro lado, la temperatura registrada durante la toma de la muestra, aunque es generalmente superior en el sondeo O1, no parece ser representativa del proceso de calentamiento de la columna de agua en el propio sondeo, donde se alcanzaron temperaturas superiores a los 30 °C de acuerdo a los registros tomados por los dispositivos de medición en continuo instalados.

En la gráfica a continuación se muestra la evolución de las concentraciones de microorganismos (en UFC/ml) para cada sondeo incluido en el ensayo en cada uno de los dos medios de cultivo empleados. En ninguna muestra se obtuvieron valores en el medio mínimo en el muestreo t4, lo que podría ser indicativo de un problema durante el proceso de siembra en laboratorio, probablemente relacionado con el medio de cultivo utilizado.

Así mismo, se pueden observar recuentos similares de microorganismos en ambos medios de cultivo, un comportamiento similar a lo que se venía observando en experimentos similares y que sería indicativo del alto grado de especialización de las comunidades bacterianas existentes en el acuífero de Bailín.

Gráfica 59. Evolución de las concentraciones de microorganismos en los sondeos de ensayo



* Resultado por debajo del valor mínimo estadísticamente significativo

Tal y como se puede observar, las concentraciones de microorganismos aumentaron tras el inicio del ensayo en los tres sondeos seleccionados. En todos los casos, los valores iniciales se encontraban, por lo general, alrededor de 10³ UFC/ml, mientras que tras el inicio de la aireación se produjo un ligero aumento de las concentraciones de microorganismos por encima de 10⁴ UFC/ml, siendo incluso un orden de magnitud superior en muestreos puntuales en los sondeos de actuación I1 y O1.

También se puede observar como tras finalizar el ensayo, las concentraciones promedio de microorganismos disminuyen a valores similares a los iniciales existentes en cada punto. Esto apuntaría a un efecto directo causa-efecto, pero transitorio mientras se encuentra activo el proceso de aireación del agua subterránea.

Es interesante observar como también el sondeo aguas abajo de los puntos de actuación (O2) experimenta un aumento en las concentraciones de microorganismos detectadas en cada uno de los muestreos realizados durante el ensayo (t₁ a t₄). Este hecho podría estar relacionado con un efecto beneficioso de los tratamientos ensayados aguas arriba.

En cuanto a la concentración de contaminantes, es posible observar en general un descenso de las concentraciones de los contaminantes más ligeros y volátiles al inicio del ensayo, cuyas concentraciones, al igual que ocurría con las concentraciones de microorganismos, vuelven a recuperar valores similares a los iniciales tras cesar los tratamientos llevados a cabo.

Tabla 56. Evolución de las concentraciones de benceno, monoclorobenceno y HCH total

Compuesto	Muestreo	I1	O1	O2
Benceno	t ₀	2.296	2.663	2.351
	t ₁	1.769	156	600
	t ₂	575	874	1.101
	t ₃	5.486	4.407	3.327
	t ₄	581	133	1.197
	t ₅	590	3.610	3.721
	t ₆	5.425	4.962	4.049
Monoclorobenceno	t ₀	18.454	24.874	24.631
	t ₁	13.872	1.683	4.328
	t ₂	4.929	5.726	7.880
	t ₃	18.672	9.187	7.414
	t ₄	3.724	622	7.230
	t ₅	6.122	10.545	21.215
	t ₆	33.143	29.369	20.460
HCH total	t ₀	2.327	1.759	2.390
	t ₁	3.233	3.168	2.450
	t ₂	3.286	2.566	2.443
	t ₃	3.865	2.464	2.455
	t ₄	6.300	4.496	4.769
	t ₅	6.902	3.978	4.282
	t ₆	5.713	4.974	3.979

Sin embargo, según las condiciones de ejecución del ensayo, resulta complicado discernir el efecto directo de la aireación (que provoca la volatilización de los contaminantes) y un posible aumento de las tasas de los procesos de biodegradación.

En conjunto, los resultados obtenidos en el ensayo permiten observar un aumento de las concentraciones de microorganismos aeróbicos a raíz de los tratamientos realizados en el agua subterránea de los sondeos, que permiten alcanzar concentraciones cercanas a los 10⁵ UFC/ml.

Estos valores se pueden considerar interesantes para llevar a cabo tratamientos de bioestimulación de las comunidades microbianas del acuífero, no obstante, hacen probable que sea necesario reforzar la bioestimulación con la adición de nuevos tratamientos o enmiendas como, por ejemplo, la inyección de nutrientes que se encuentren deficitarios en el acuífero de Bailín (por ejemplo, el fósforo).

En función de los resultados obtenidos, se planificó un nuevo ensayo de bioestimulación aeróbica mediante aireación en los sondeos I1 y O1 de la Zona de Barrera con adición de nutrientes, que comenzó en octubre de 2023, y que se ha prolongado hasta febrero de 2024.

8.2.2 Biorreactor anaeróbico en campo (ISBR)

El día 28 de agosto de 2023 se instaló un sistema de biorremediación por vía anaeróbica (biorreactor in situ, ISBR, por sus siglas en inglés), en el sondeo del vaso P186, sobre la capa M, utilizando el sondeo próximo P179N como punto de observación.

Este ensayo formaba parte de los ensayos y trabajos asociados presentados a la Dirección Facultativa en abril de 2023, en la Propuesta de ensayos de biorremediación 2023, englobado en el Capítulo 6.1 de la partida presupuestaria detallada en el Pliego de Prescripciones Técnicas del contrato correspondiente al **Seguimiento Hidrogeológico de Bailín, Sabiñánigo (Huesca), Prórroga 7 septiembre a 30 de abril de 2023**, con N° de expediente 1404-4422-2019/18.

Figura 45. Ubicación del sondeo P186 para el ensayo ISBR



El objetivo del ensayo era intentar bioestimular el metabolismo microbiano por vía anaeróbica en esta zona del acuífero y favorecer la degradación de los contaminantes de interés. Para ello, se instaló un dispositivo que permitía inducir unas condiciones anaeróbicas controladas mediante la inyección de nitrógeno y lactato sódico al 20% como dador de electrones.

Figura 46. Esquema y fotografías del sistema ISBR

El funcionamiento del sistema se basa en que, una vez el dispositivo es introducido en el acuífero, el crecimiento de los microorganismos se va produciendo sobre unas celdas de carbón activo contenidas dentro del equipo que sirven como soporte para su proliferación. El agua del acuífero se recircula a través del interior del biorreactor y permite que los microorganismos activos migren y sean liberados al acuífero progresivamente. Como último fin, si se consigue incentivar el crecimiento bacteriano y desarrollar una comunidad microbiana adaptada, el sistema podría ser reubicado en otro sondeo.

El sistema ISBR fue adquirido a la empresa Microbial Insights, un laboratorio especializado en microbiología aplicada al campo de la biorremediación, con una experiencia de más de 25 años y con la que se ha venido trabajando en los últimos años.

Antes de la instalación del sistema en el sondeo de ensayo, se llevaron a cabo trabajos asociados previos que incluyeron el desarrollo del sondeo, un muestreo de condiciones iniciales (*baseline*) en P186 y P179N, pruebas de funcionamiento del sistema y adaptación del cuadro de control.

Figura 47. Trabajos previos asociados al ensayo ISBR



A lo largo del ensayo, se han realizado muestreos de control tanto en P186 (actuación) como en P179N (observación) para el análisis de parámetros físico-químicos in situ, análisis de contaminantes en el laboratorio de Pirenarium, análisis de la actividad microbiana mediante siembras microbiológicas en condiciones anaeróbicas en el laboratorio de Bailín en medio genérico (columbia agar+sheep blood plus) y medio mínimo (bushnell hass agar con una dilución de los contaminantes del acuífero) y análisis de genes funcionales en el laboratorio de Microbial Insights.

El ensayo ha estado activo hasta febrero de 2024.

--- o O o ---

Anexo A. Inventario

Familia	Stock minimo	Entradas	Salidas	Inventario
Calibraciones				
Bote calibración conductividad 12880	3	11	-7	4
Bote calibración conductividad 1413	3	23	-8	15
Bote calibración Ph 10	3	7	-3	4
Bote calibración Ph 4	3	10	-4	6
Bote calibración Ph 7	3	12	-6	6
Bote calibración Redox 240 mV	2	9	-4	5
Bote HI9828-25	1	3	-2	1
Sobres PH10.01	25	50	-4	46
Consumibles almacen				
ORC	10	64	-22	42
Electroválvulas y válvulas antirretorno				
Electroválvulas	3	7	-4	3
Manómetros electroválvulas	3	5	-1	4
Vaso de expansión electroválvulas	3	9	-2	7
EPI's				
Calzas tyvek	1	1000	-10	990
casco versaflo	1	6	-4	2
Cascos obra	3	7	-4	3
Chalecos alta visibilidad	30	15	-6	9
filtro versaflo	1	55	-7	48
Filtros 3M ref. 6095 AXP3 (cajas)	10	86	-44	42
guantes de nitrilo XL(caja)	2	72	-20	52
guantes nitrilo L	4	112	-73	39
guantes nitrilo M	2	59	-18	41
guantes nitrilo S	2	8	-2	6
Mangas tyvek (cajas)	1	1050	-50	1000
Máscaras completas 3M 6800 talla L	5	23	-11	12
Máscaras completas 3M 6800 talla M	5	23	-13	10
Máscaras completas 3M 6800 talla S	5	9	-6	3
Semimáscaras 3M 6000 talla L	5	31	-12	19

Semimáscaras 3M 6000 talla M	5	32	-24	8
Semimáscaras 3M 6000 talla S	5	18	-2	16
Tychem talla L (unidades)	6	18	-83	-65
Tyvek talla 2XL	50	280	-220	60
Tyvek talla L (unidades)	50	467	-207	260
Tyvek talla M (unidades)	25	400	-80	320
Tyvek talla XL (unidades)	20	598	-138	460
ventilador versaflo	1	6	-4	2
Laboratorio				
Kit persulfato CHEMets	1	26	-1	25
Nevera synlab 8 botes	4	8	-3	5
Persulfox(25kg)	0	236	-16	220
Regenox A	0	15	-9	6
Repuestos ampollas persulfato sodio	1	3	-2	1
Tubo carbón activo G	1	58	-20	38
Mediciones				
Bailer 2	24	108	-67	41
Botella 250ml	50	388	-312	76
Botella muestras 500ml	100	523	-409	114
Filtros muestreo 0,45um	10	165	-94	71
Hydrasleeves	12	169	-77	92
synlab alc237 (sin ácido)	10	66	-59	7
mediciones y repuestos				
smartcap	1	5	-2	3
Repuestos				
Cabecal sonda TLC	1	4	-3	1
Cintas de repuesto formato nuevo/TLC	1	9	-3	6
Kit repuestos Bladder 1	5	4	-3	1
Kit repuestos bladder 2	2	15	-13	2
Membranas bladder 2	10	77	-25	52

Tuberías y mangueras (Metros lineales)

Tubería PA 4x6 mm blanca (bladder)	2000	25000	-20200	4800
Tubería PA 6x8 mm blanca (bladder)	2000	21600	-16800	4800
Tubería poliamida 11x14 mm azul	100	1500	-200	1300
Tubería poliamida 11x14 mm negra (aire)	100	900	-200	700
Tubería silicona	25	100	-50	50

Codigo	Fecha llegada	Nº Serie	Tipo equipo	Marca	Modelo
GLORA02		7076ff0056070880	Gateway Lora	Kerlink	
PT100-01	09/09/2021	24E124126A391901	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
UC03	09/09/2021	24E124412A495490	UC500	Milesight	UC501
UC01	09/09/2021	24E124412A490784	UC500	Milesight	UC501
UC04	09/09/2021	24E124413B050327	UC500	Milesight	UC502
UC02	09/09/2021	24E124413B059671	UC500	Milesight	UC502
PT100-02	06/10/2021	24E124126B051868	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-03	06/10/2021	24E124126B052570	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-09	06/10/2021	24E124126B055873	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-08	06/10/2021	24E124126B055725	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-04	06/10/2021	24E124126B013700	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-06	06/10/2021	24E124126B013959	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-05	06/10/2021	24E124126B013950	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
PT100-07	06/10/2021	24E124126B014012	EM500-PT100	Milesight	EM500-PT100
SWL01-P222	09/03/2022	24E124126B421714	EM500-SWL	Milesight	EM500-SWL
UC05	07/06/2022	24E124454C101433	UC500	Milesight	UC502
UC06	07/06/2022	24E124454C103438	UC500	Milesight	UC501
UC07	07/06/2022	24E124454C100010	UC500	Milesight	UC502
UC08	07/06/2022	24E124454C101776	UC500	Milesight	UC502
UC09	07/06/2022	24E124454C103489	UC500	Milesight	UC501
UC10	07/06/2022	24E124454C100235	UC500	Milesight	UC502
UC11	07/06/2022	24E124454C102658	UC500	Milesight	UC501
UC12	07/06/2022	24E124454C103373	UC500	Milesight	UC501
UC13	07/06/2022	24E124454C103186	UC500	Milesight	UC501
UC14	07/06/2022	24E124454C101641	UC500	Milesight	UC502
UDL04	15/09/2022	24E124126C149832	EM500-UDL	Milesight	EM500-UDL
UDL01	15/09/2022	24E124126C149708	EM500-UDL	Milesight	EM500-UDL
UDL02	15/09/2022	24E124126C149936	EM500-UDL	Milesight	EM500-UDL
UDL03	15/09/2022	24E124126C149633	EM500-UDL	Milesight	EM500-UDL
AG		ML1712024424	Agitador		
AGIT01		304385	Agitador		
ANE01			Anemometro	Degree	
BD01	04/11/2021	001-2148540	Barologger diver	Solinst	
BD02	04/11/2021	001-2147470	Barologger diver	Solinst	
BI01		2019W9-00263	Bomba eléctrica horizontal de impulsión	Espa	
BI02		2019W9	Bomba eléctrica horizontal de impulsión	Espa	
BB07		1-800-833-7958	Bomba bladder 1 pulgada	Geotech	
BB01		875	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB02		1905	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB03		1901	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB04		-	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB05		1513	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB06		1479	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BW01		21255919	Bomba doble membrana Wilden	Wilden	
BP01			Bomba peristaltica	Wilden	
BR03		V-00035	Bombas rana	Espa	
BR02			Bombas rana	Espa	
BR01		4309	Bombas rana	Espa	
CAL01		41462036005	Calibrador bomba muestreo gases	TSI	
GI01		20200210013	Calibrador bomba muestreo gases	TSI	
CAM01			Camara prospeccion		
CAU01		38182029	Caudalimetro	Comac cal	
CAU02		38182031	Caudalimetro	Comac cal	
CAU03		38182027	Caudalimetro	Comac cal	
CAU04		38182028	Caudalimetro	Comac cal	

CAU05	05/10/2020	38182030	Caudalimetro	Comac cal
CPI01		5312255	Compresor 4 pistones	Josval
COMP01	17/394	06270297	Compresor piston portatil	
COMP02	17/394	06270251	Compresor piston portatil	
CT01			Compresor tornillo josval	Josval
DL01	KV1824004		data Logger squirrel	Squirrel
DECV			Decantador	
DECN			Decantador	
DB01		271142316	desbrozadora	stihl
DB02			desbrozadora 2	kasei
DLD01			Diver Schlumberger	Schlumberger
EBP01			Equipo bombeo portatil	Mati
EBP02			Equipo bombeo portatil	Mati
GG03	F08KAPF840		Generador emergencia	
GEBM01		1022045075	Generador movil	Campeon
GG01	EACT-1226660		Generador portatil	Honda
GG02			Generador portatil	Honda
GR01		9,94E+14	Grupo presión Grundfos	Grundfos
HL01		264963	Hidrolimpiadora	Karcher
Viales			Instalaciones	
Cobertizo equipos			Instalaciones	
MC01		20597165	Medición en continuo	HOBO
MC02		20597166	Medición en continuo	HOBO
MC03		20597167	Medición en continuo	HOBO
MB01	GCALT-1428325		Motobomba	Honda
PID01	T-114528		PID	Ion science
CC10			Sensor conductividad	
CC07	27/07/2021	21071011	Sensor conductividad	Phionics
CC08	27/07/2021	21071012	Sensor conductividad	Phionics
CC09	06/07/2022		Sensor conductividad	Phionics
CC01	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
CC02	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
CC03	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
CC04	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
CC05	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
CC06	27/07/2021	2,02E+13	Sensor conductividad	AQUAS
SCNT485-01	28/07/2021		Sensor Conductividad-Nivel-Temp 485	AQUAS
SCNT 01	29/07/2021		Sensor conductividad-nivel-temperatura-L	Keller
SCOV01			Sensor COV	Keller
SCOV02	05/10/2020	9120090129	Sensor COV	GRI
SCOV04	25/11/2021		Sensor COV	GRI
SCOV06	25/11/2021		Sensor COV	GRI
SCOV05	25/11/2021		Sensor COV	GRI
SCOV03	25/03/2022		Sensor COV	GRI
NC01		R19042002	Sensor de nivel	GRI
NC02		R19042001	Sensor de nivel	RIKA electronics
NC03		R19042003	Sensor de nivel	RIKA electronics
NC04	25/11/2021	R21122130	Sensor de nivel	RIKA electronics 4-20mA?
NC05	25/11/2021		Sensor de nivel	
NC06	25/11/2021	R21122132	Sensor de nivel	
NC07	25/11/2021	R21122133	Sensor de nivel	
NC08	25/11/2021	R21122134	Sensor de nivel	
NC09	25/11/2021	R21122135	Sensor de nivel	
NC10	25/11/2021	R21122136	Sensor de nivel	
NC11	25/11/2021	R21122128	Sensor de nivel	
NC12	25/11/2021	R21122129	Sensor de nivel	

NC13	25/11/2021	R21122131	Sensor de nivel	
NC14	25/11/2021		Sensor de nivel	
SPH01	18/01/2021	20121017	sensor PH	
PH01			sensor ph	Phionics
SRX01	18/01/2021	20121016	sensor redox	
ST01	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Phionics
ST02	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST03	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST04	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST05	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST06	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST08	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
ST07	29/07/2021		Sensor Temperatura LORA	Milesight
SV01			sensor vacio	Milesight
MP01	01/01/2019	H0060507	Sonda multiparametrica	
MP02	01/01/2019	4240070101	Sonda multiparametrica	HANNA instruments
MP03	25/11/2021	M02460026111	Sonda multiparametrica	HANNA instruments
SN02	01/01/2019	222540	Sonda nivel	HANNA instruments
SN03	01/01/2019	43466	Sonda nivel	HANNA instruments
SN01	01/01/2019	280161	Sonda nivel	Solinst
SN04	01/01/2019	56010	Sonda nivel	Solinst
SN05	01/01/2019	280922	Sonda nivel	Solinst
OD01	05/10/2020	507034101	Sonda optico oxigeno	Solinst
OD02	27/10/2020	512017101	Sonda optico oxigeno	Solinst
TLC01	01/01/2019	237260	Sonda TLC	HANNA instruments
TLC02	01/01/2019	45487	Sonda TLC	HANNA instruments
TCL03	01/01/2019	307212	Sonda TLC	Solinst
SOP01			soplantes	Solinst SKH 80 2V DS P240
SOP02			soplantes	Solinst SKH 80 2V DS P240
TUR01		PT0900314454	Turbilimetro	Palintest
WB01	25/11/2021		Watterra bomba	Watterra
DIV01		2082160	Diver	Solinst
DIV02		2082156	Diver	Solinst
DIV03		2082167	Diver	Solinst
DIV04		2082168	Diver	Solinst
DIV05		2082162	Diver	Solinst
DIV06		2071168	Diver	Solinst
DIV07		2071167	Diver	Solinst
DIV08		2082147	Diver	Solinst
DIV09		2066702	Diver	Solinst
DIV10		2071162	Diver	Solinst
DIV11		2082164	Diver	Solinst
DIV12		2082170	Diver	Solinst
DIV13		2066712	Diver	Solinst
DIV14		2106788	Diver	Solinst
DIV15		2082166	Diver	Solinst
DIV16		2066720	Diver	Solinst
DIV17		2066709	Diver	Solinst
DIV18		2044639	Diver	Solinst
DIV19		2125321	Diver	Solinst
DIV20		2066714	Diver	Solinst
DIV21		2148972	Diver	Solinst LT M30
DIV22		52106786	Diver	Solinst LT F100/M30
DIV23		32071152	Diver	Solinst
DIV24		2124821	Diver	Solinst
DIVC01		021-1074820	Diver	Solinst LTC-M100

DIVC02	020-1078629	Diver	Solinst	
WT01		Bomba watterra		
BT01	28/12/2022	6930 Bomba Tornado	Proactive	Tornado 2.0
SOP03	15/03/2023	Bomba extraccion aire	SKH	SKH 80 2V DS P240
VLA01	15/03/2023	Valvula limitadora aire 190mBar vacio	SKH	Valvula limitadora vacio presion 1 1/4
VLA02	15/03/2023	Valvula limitadora aire 190mBar vacio	SKH	Valvula limitadora vacio presion 1 1/4
VLA03	15/03/2023	Valvula limitadora aire 190mBar vacio	SKH	Valvula limitadora vacio presion 1 1/4
CAU06	17/07/2023	Caudalimetro		
CAU07	17/07/2023	Caudalimetro		
BB08	03/10/2023	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB09	03/10/2023	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB10	03/10/2023	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB11	03/10/2023	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	
BB12	03/10/2023	Bomba bladder 2 pulgadas	Geotech	

Anexo B. Reportaje fotográfico

Mantenimiento de la bomba del P94



Instalación de cabezales en sondeos zona barrera



Descongelación del compresor de la zona de barrera



Revisión y purgado del generador de emergencia



Cambio de tuberías de bombeo



Remodelación de la escalera de acceso a las oficinas



Detalle del montaje e instalación de resistencia sumergible



Desarrollo de los sondeos implicados en el ensayo de Zona de Barrera



Reparación valla de madera



Reparación de la tubería dosificadora de sosa en la planta de sosa



Reparación del asfalto en la zona de tolvas



Hormigonado de plataforma en la zona de la ermita (Zona 0)



Rediseño de la electroválvula del compresor-maletín



Preparación y puesta en marcha del sistema de aireación en I1 y O1



Detalle del sistema de bombeo y grifo tomamuestras en el desarrollo del P186



Cambio difusor O1



Mejora en el sistema de bombeo instalado en el Barranco 3



Cambio bomba extracción de la planta de sosa



Desarrollo de sondeos en el vaso



Hormigonado solera en la caseta de la Zona de Barrera



Reparación enchufe Bomba del barranco 3



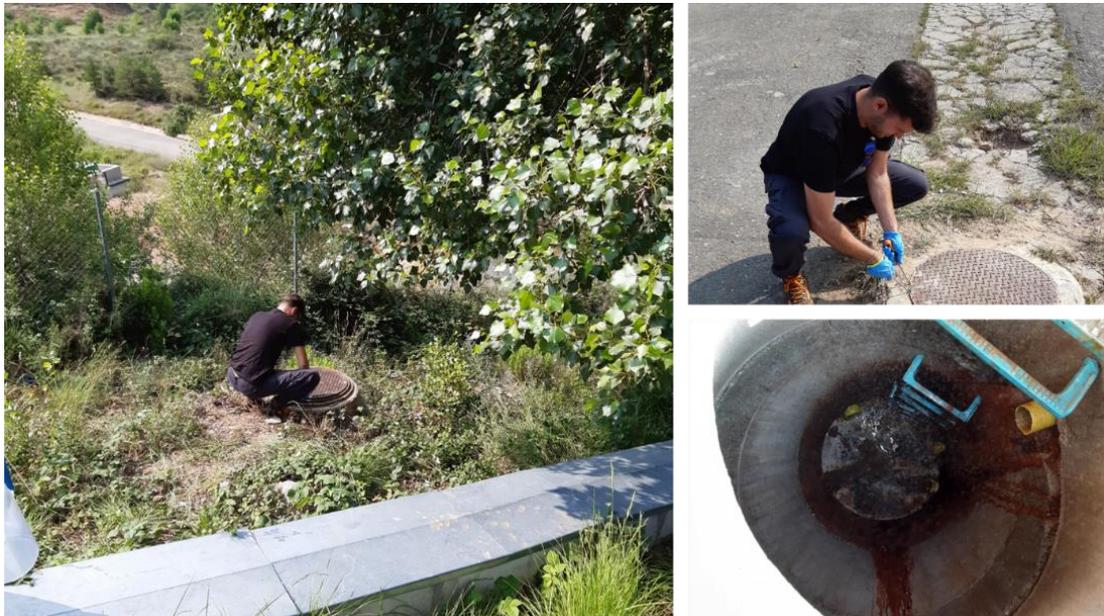
Desarrollo de sondeo P172



Limpeza de drenajes de la Zona 0: Limpieza arqueta sur



Revisión y aforado del drenaje de la Zona 0



Obras de acceso para el ensayo de la balsa infiltración



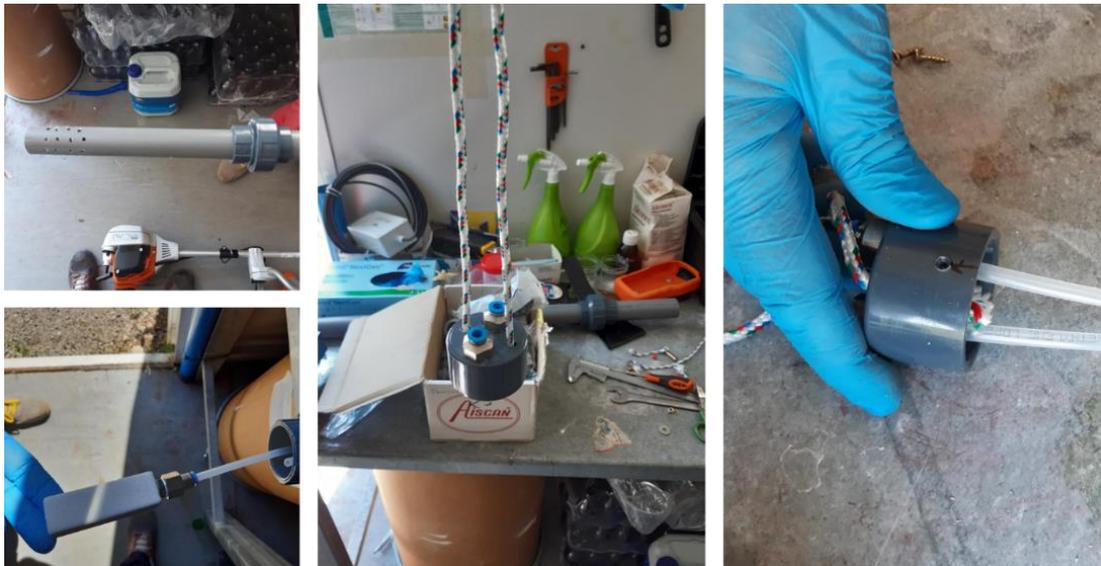
Instalación de sensores en continuo (LORA) en P146 y P147



Adecuación de la plataforma para la perforación de sondeos en la capa M en la Zona 0



Prefabricado de prototipos para el ensayo de bioestimulación con adición de nutrientes en campo



Diseño de muestreadores pasivos



Reparación del grupo de presión de la zona industrial



Construcción de la balsa de infiltración



Conexión de los equipos existentes de la balsa de infiltración



Sustitución sensor pH multiparamétrica
MP03



Instalación de cabezales con brida en
I1S y O1S



Vallado de la plataforma situada en la Zona 0



Mejora de la instalación eléctrica de
alimentación e iluminación del vaso



Sustitución del electrodo de la sonda
TLC 3



Reparación escollera P186



Desbroces



Adecuación zona barrera



Reparación del bache de la zona industrial



Construcción de plataforma para perforación de sondeos



Sustitución bomba P52 y revisión de la electroválvula



Mantenimiento bomba P171



Instalación de PFMs



Levantamiento topográfico de los nuevos sondeos



Reparación del biorreactor aeróbico situado en I1 y O1



Limpeza de las mangueras del LIFE



Toma de muestras de PFMs



Anexo C. Perforación de sondeos

BAL1

Situación perforación



Caja 1 (de 0,0 a 2,60 m)



Caja 2 (De 2,6 a 5 m)



BAL2

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,5 m)



Caja 2 (De 2,5 a 4,9 m)



Caja 3 (De 4,9 a 5,2 m)



BAL3

Situación Perforación



Caja (De 0 a 2,9 m)



Caja 2 (De 2,9 a 5 m)



BAL4

Situación perforación.



Caja 1 (De 0 a 2,5 m)



Caja 2 (De 2,5 a 4,9 m)



Caja 3 (De 4,9 a 5,1 m)



BAL5

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,5 m)



Caja 2 (De 2,5 a 4,8)



Caja 3 (De 4,8 a 5,2 m)



BAL6

Situación perforación.



Caja 1 (De 0 a 2,6 m)



Caja 2 (De 2,6 a 4,9 m)



Caja 3 (De 4,9 a 5,1 m)



BAL7

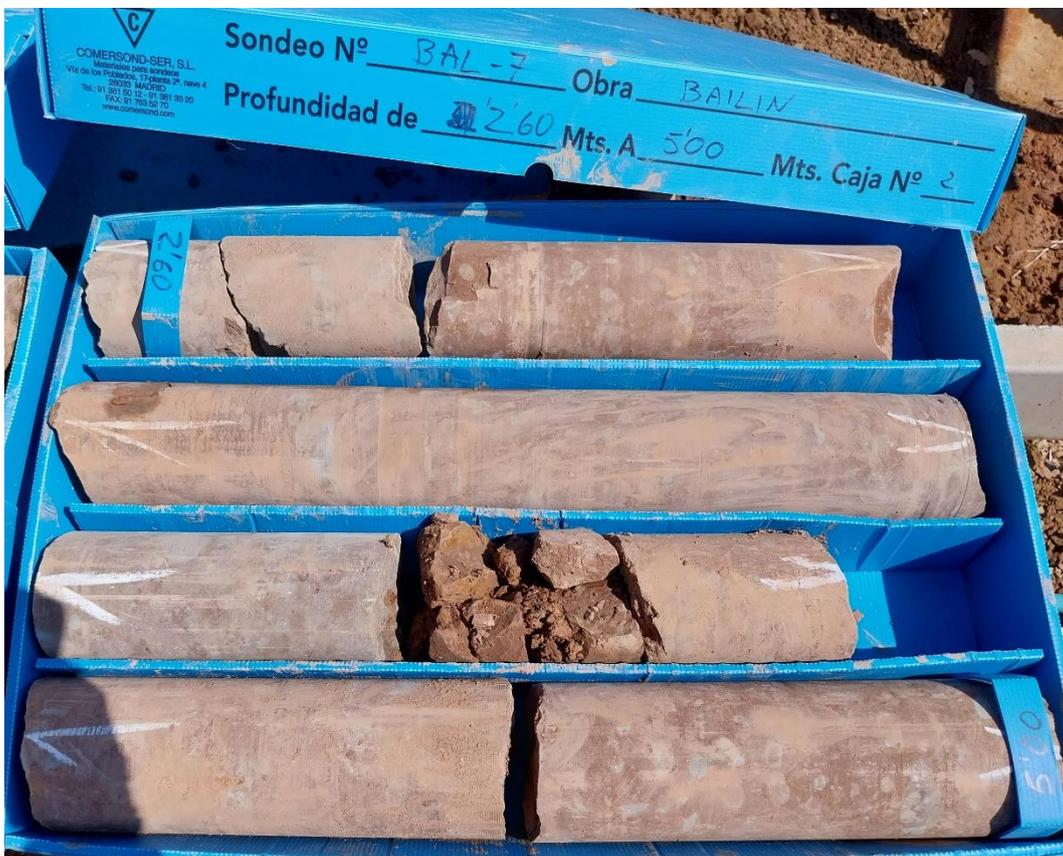
Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,6 m)



Caja 2 (De 2,6 a 5 m)



Caja 3 (De 5 a 5,3 m)



BAL8

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,8 m)

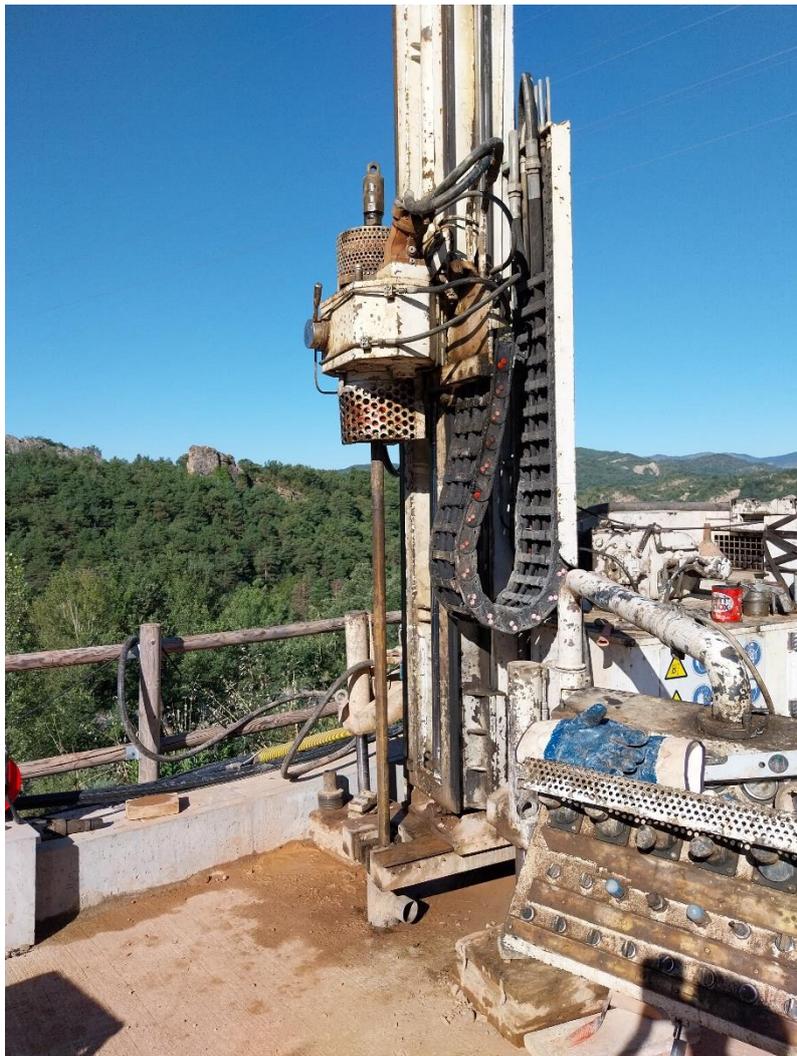


Caja 3 (De 4,8 a 5,1 m)



IIS

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,8 m)



Caja 3 (De 4,8 a 7,2 m)



Caja 4 (De 7,2 a 9,6 m)



Caja 5 (De 9,6 a 11,9 m)



Caja 6 (De 11,9 a 14,2 m)



Caja 7 (De 14,2 a 16,4 m)



Caja 8 (De 16,4 a 18,5 m)



Caja 9 (De 18,5 a 20,9 m)



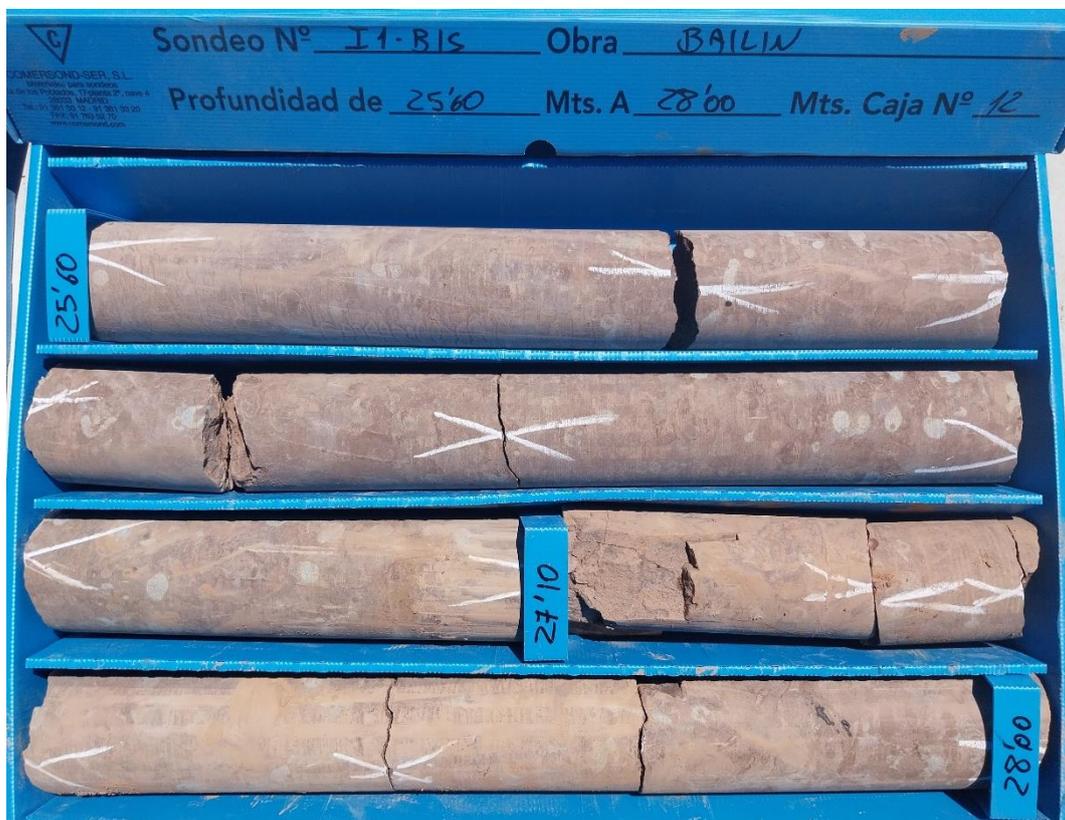
Caja 10 (De 20,9 a 23,20 m)



Caja 11 (De 23,2 a 25,6 m)



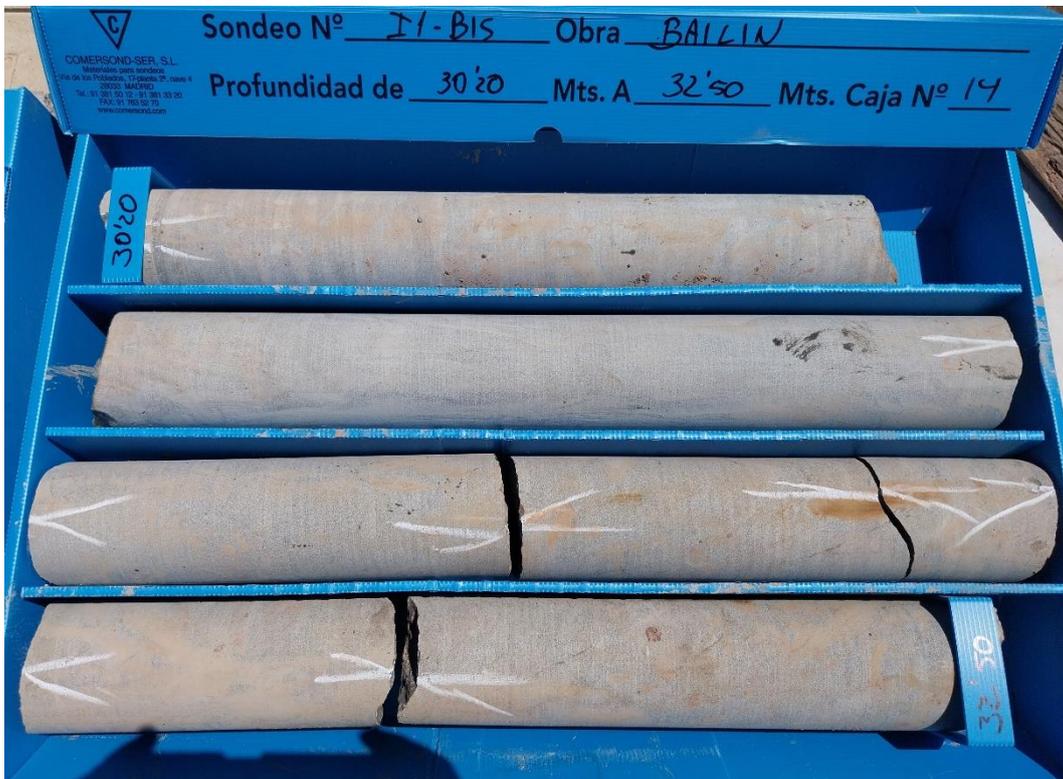
Caja 12 (De 25,6 a 28 m)



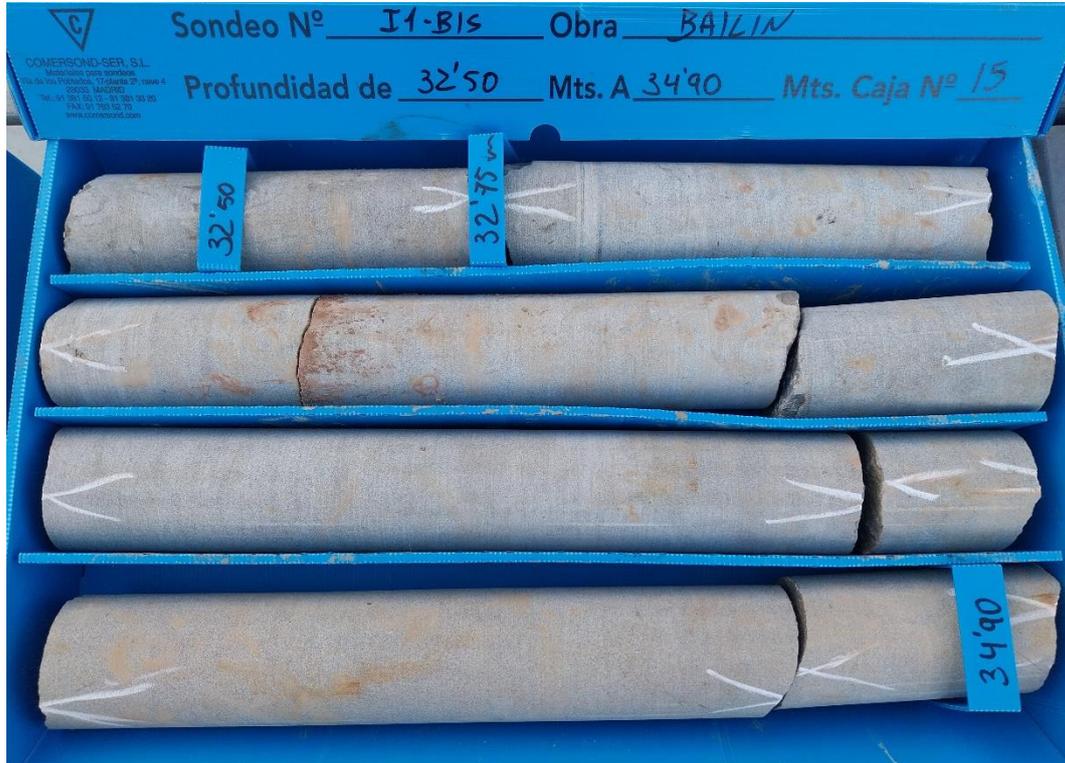
Caja 13 (De 28 a 30,2 m)



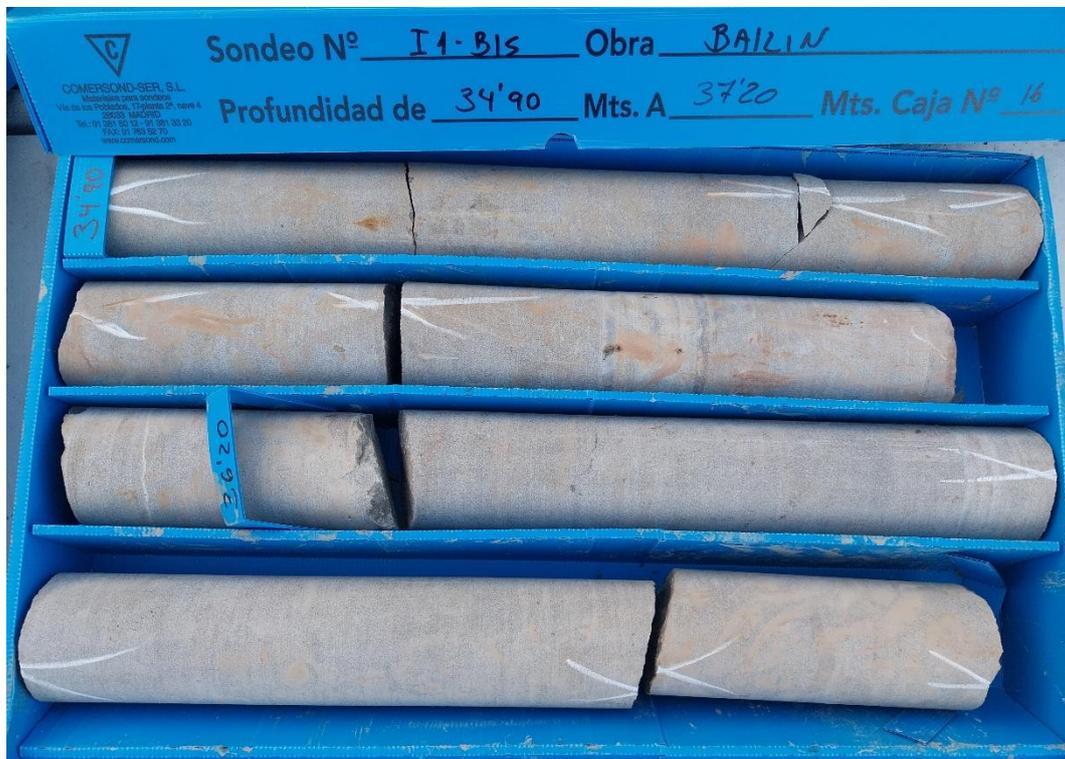
Caja 14 (De 30,2 a 32,5 m)



Caja 15 (De 32,5 a 34,90 m)



Caja 16 (De 34,9 a 37,2 m)



Caja 17 (De 37,2 a 39,6 m)



Caja 18 (De 39,6 a 39,9 m)

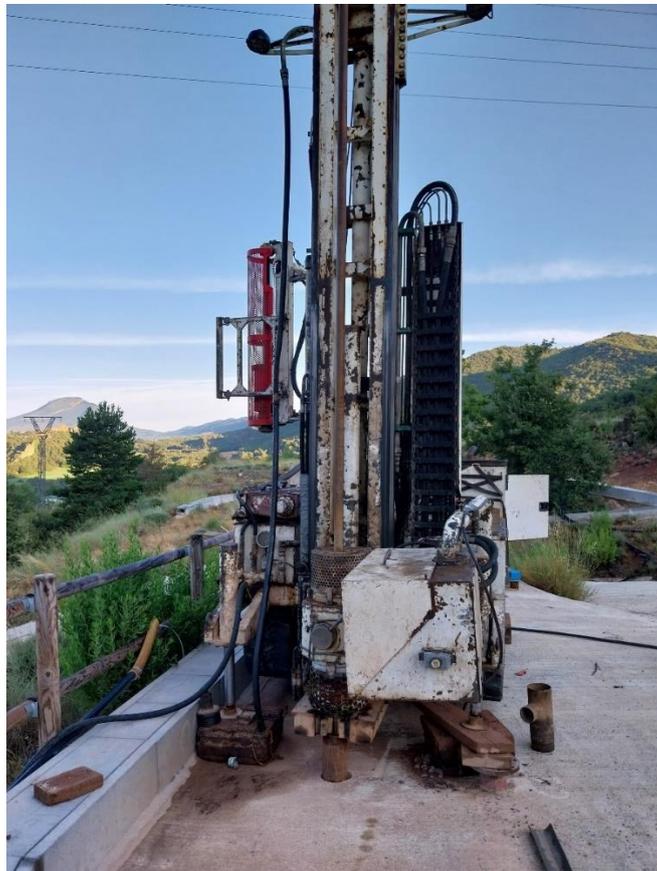


Detalle del contacto entre la arenisca y Limolita a 8,9 m.

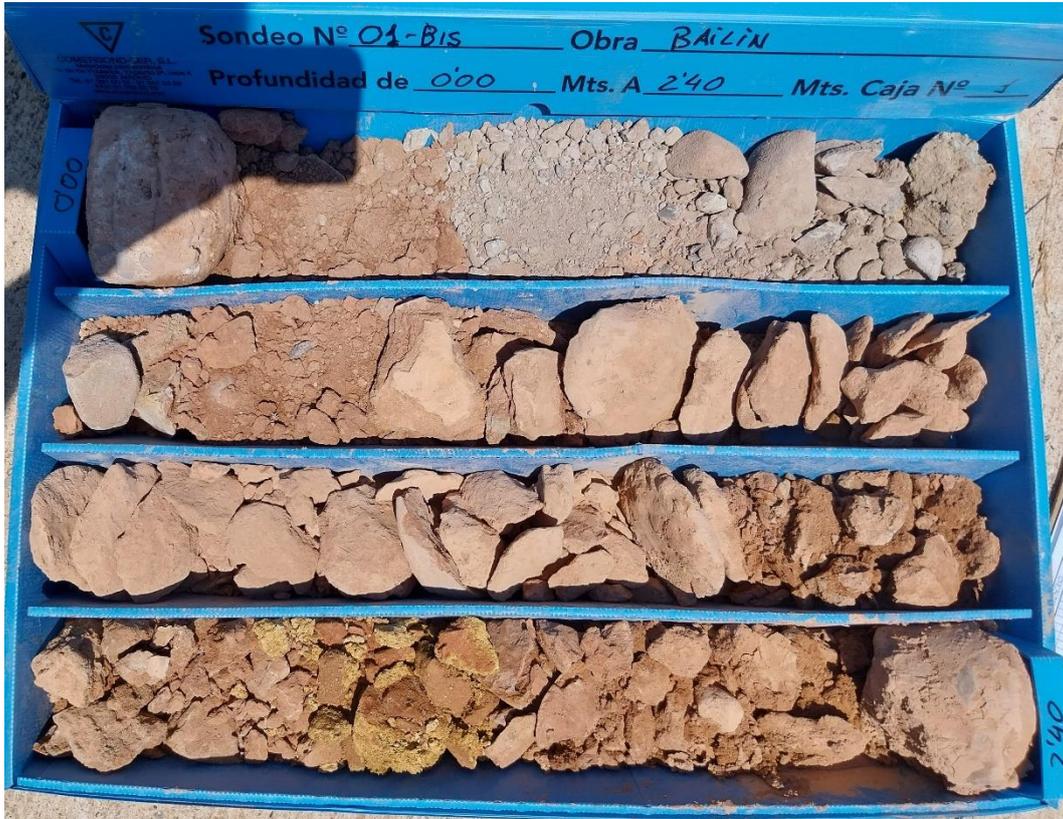


O1S

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,4 m)



Caja 3 (De 4,4 a 6,7 m)



Caja 4 (De 6,7 a 9,1 m)



Caja 5 (De 9,1 a 11,5 m)



Caja 6 (De 11,5 a 13,9 m)



Caja 7 (De 13,9 a 16,2 m)



Caja 8 (De 16,2 a 18,6 m)



Caja 9 (De 18,6 a 21 m)



Caja 10 (De 21 a 23,4 m)



Caja 11 (De 23,4 a 25,7 m)



Caja 12 (De 25,7 a 28 m)



Caja 13 (De 28 a 30,4 m)



Detalle de las manchas negras en una fractura a 30 m.



Caja 14 (De 30,4 a 32,8 m)



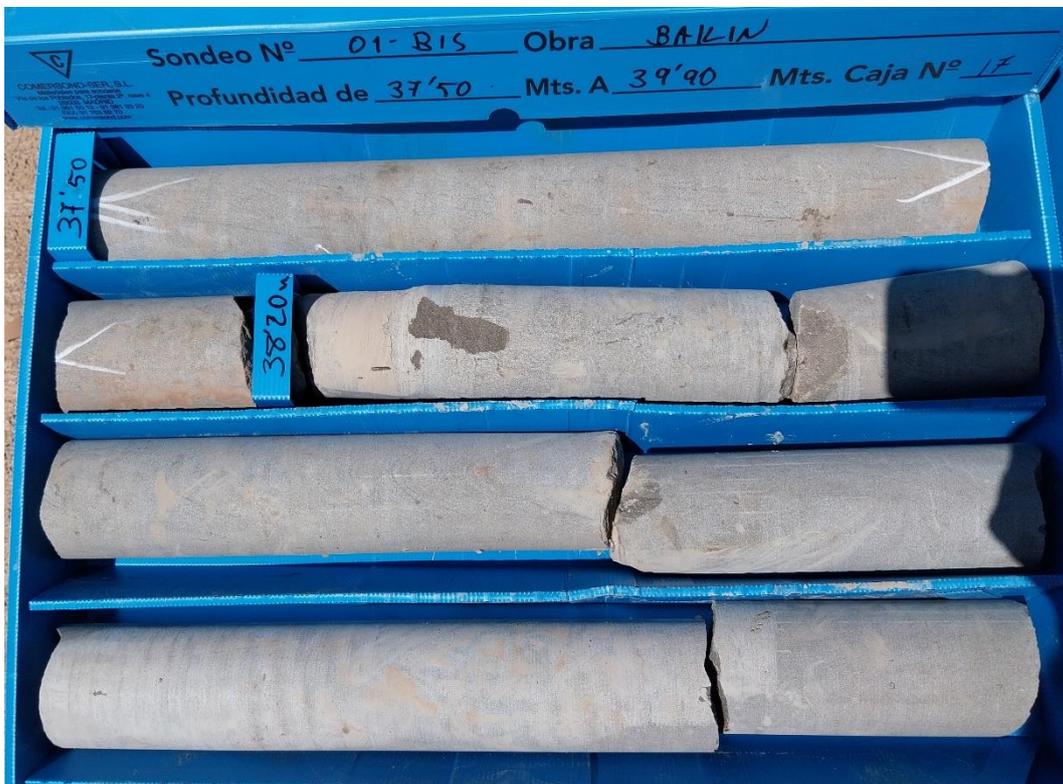
Caja 15 (De 32,8 a 35,2 m)



Caja 16 (De 35,2 a 37,5 m)



Caja 17 (De 37,5 a 39,9 m)



Caja 18 (De 39,9 a 40,3 m)



P224

Situación perforación



Caja 1 (de 0,0 a 2,40 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,7 m)



Caja 3 (De 4,7 a 7,1 m)



Caja 4 (De 7,1 a 9,3 m)



Caja 5 (De 9,3 a 11,5 m)



Caja 6 (De 11,5 a 13,9 m)



Caja 7 (De 13,9 a 16,3 m)



Caja 8 (De 16,3 a 18,5 m)



Caja 9 (De 18,5 a 20,75 m)



Caja 10 (De 20,75 a 22,9 m)



Caja 11 (De 22,9 a 25,2 m)



Caja 12 (De 25,2 a 27,4 m)



Caja 13 (De 27,4 a 29,7 m)



Caja 14 (De 29,7 a 32 m)



Caja 15 (De 32 a 34,3 m)



Caja 16 (De 34,3 a 36,6 m)



Caja 17 (De 36,6 a 39 m)



Caja 18 (De 39 a 40,2 m)



P225

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,8 m)



Caja 3 (De 4,8 a 6,9 m)



Caja 4 (De 6,9 a 9,15 m)



Caja 5 (De 9,15 a 11,4 m)



Caja 6 (De 11,4 a 13,8 m)



Caja 7 (De 13,8 a 16,1 m)



Caja 8 (De 16,1 a 18,5 m)



Caja 9 (De 18,5 a 20,8 m)



Caja 10 (De 20,8 a 23,1 m)



Caja 11 (De 23,1 a 25,4 m)



Caja 12 (De 25,4 a 27,65 m)



Caja 13 (De 27,65 a 30,0 m)



Caja 14 (De 30,0 a 32,3 m)



Caja 15 (De 32,3 a 34,6 m)



Caja 16 (De 34,6 a 36,8 m)



Caja 17 (De 36,8 a 39,1 m)



Caja 18 (De 39,1 a 40,1 m)



P226

Situación Perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



Caja 2 (De 2,4 a 4,7 m)



Caja 3 (De 4,7 a 6,9 m)



Caja 4 (De 6,9 a 9,1 m)



Caja 5 (De 9,1 a 11,45 m)



Caja 6 (De 11,45 a 13,65 m)



Caja 7 (De 13,65 a 16,0 m)



Caja 8 (De 16,0 a 18,3 m)



Caja 9 (De 18,3 a 20,6 m)



Caja 10 (De 20,6 a 23,0 m)



Caja 11 (De 23,0 a 25,4 m)



Caja 12 (De 25,4 a 27,6 m)



Caja 13 (De 27,6 a 29,85 m)



Caja 14 (De 29,85 a 32,0 m)



Caja 15 (De 32,0 a 34,25 m)



Caja 16 (De 34,25 a 36,4 m)



Caja 17 (De 36,4 a 38,6 m)

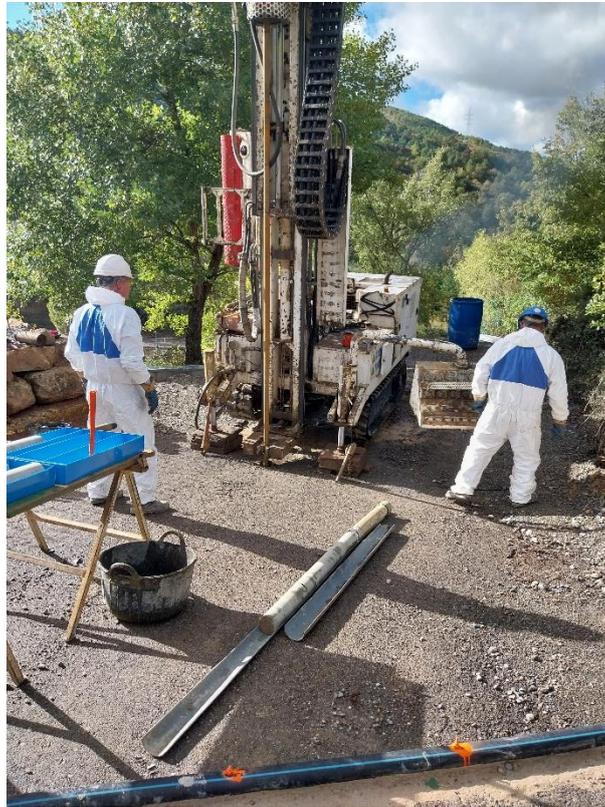


Caja 18 (De 38,6 a 40,1 m)



P227

Situación perforación



Caja 1 (De 0 a 2,4 m)



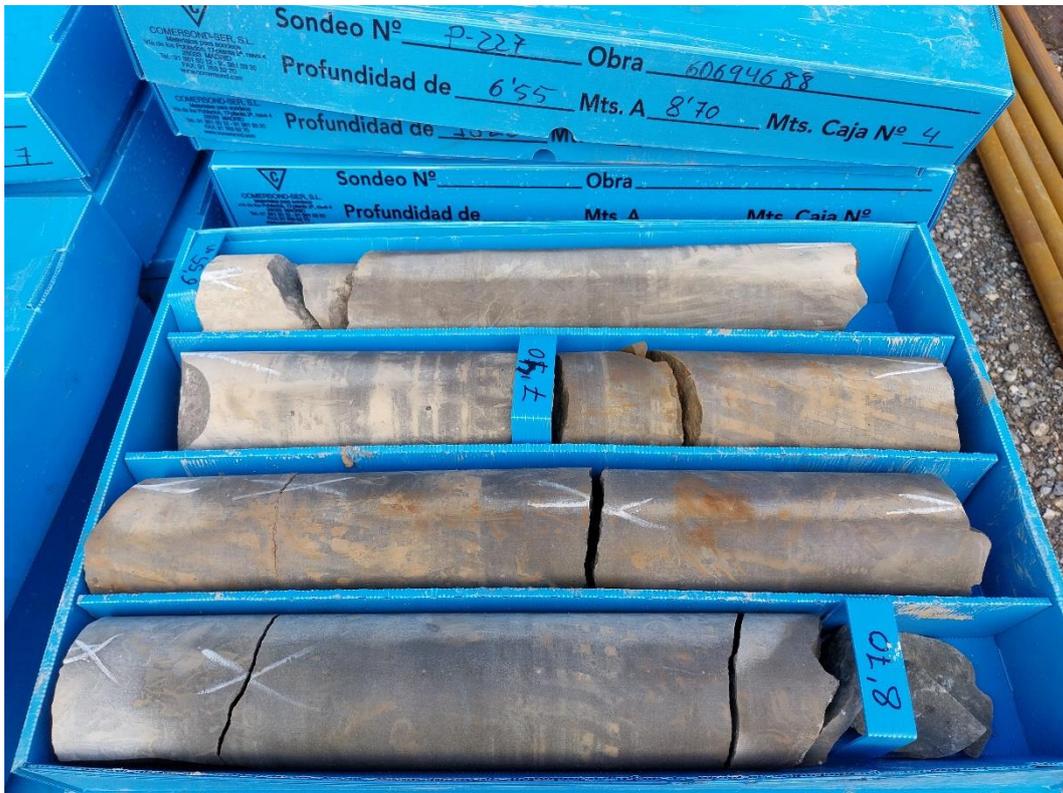
Caja 2 (De 2,4 a 4,55 m)



Caja 3 (De 4,55 a 6,65 m)



Caja 4 (De 6,65 a 8,7 m)



Caja 5 (De 8,7 a 11,0 m)



Caja 6 (De 11,0 a 13,1 m)



Caja 7 (De 13,1 a 15,2 m)



Caja 8 (De 15,2 a 17,45 m)



Caja 9 (De 17,45 a 19,6 m)



Caja 10 (De 19,6 a 21,8 m)



Caja 11 (De 21,8 a 24,1 m)



Caja 12 (De 24,1 a 26,5 m)



Caja 13 (De 26,5 a 28,75 m)



Caja 14 (De 28,75 a 30,9 m)



Caja 15 (De 30,9 a 33,2 m)



Caja 16 (De 33,2 a 35,5 m)



Caja 17 (De 35,5 a 37,75 m)



Caja 18 (De 37,75 a 40,1 m)



Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
0,0				Hormigón													
0,2				Relleno													
0,4				Hormigón													
0,8				Limolita blanda													
2,4				Limolita													
2,6				Material disgregado													
2,8				Limolita													
3,0																	
3,2																	
3,4																	
3,6																	
3,8				Limolita													
4,0																	
4,2																	
4,4																	
4,6																	
4,8																	
5,0																	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

21/07/2023: Fin de jornada a 3,6 m.

24/07/2023: Rotura de bomba de agua en camión JAREN. No se perfora.

25/07/2023: Nivel freático: 3,0 m (antes de empezas a perforar).

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
5,5																	
6,0																	
6,5				Rotura de maniobra													
6,5				Limolita													
7,0																	
7,5																	
7,5				Bioturbación													
8,0																	
8,0				Limolita													
8,5																	
9,0																	
9,0				Pasada lateral de arenisca. Fracturas verticales en limolitas. Zona de contacto entre capas.													
9,5																	
10,0																	

Pérdida de agua

0 100



Afección

0 4



Fracturas



Leyenda afección

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
10,5																	
11,0																	
11,5				Contacto entre limolita y arenisca.													
12,0				Perdida de agua													
12,5																	
13,0																	
13,5																	
14,0																	
14,5				Zona fracturada													
14,5				Contacto limolita arenisca													
15,0																	
																	Arcilla y limo

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
15,5																		
16,0				Arenisca					X				4	20		Arena		
									X				3	80		Arenoso		
									X				3	80		Arenoso		
16,5				Contacto arenisca limolita														
									X				4	80		Limo y arcilla		
17,0									X				3	70		Limo y arcilla		
									X				<1	0				
17,5																		
				Limolita					X				4	80		Arenoso		
18,0									X				2	0				
18,5																		
									X				1	30				
19,0																		
19,5																		
									X				3	0				
20,0																		
									X				4	10				
20,5																		

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

25/07/2023: Fin de jornada a 18,3 m.

26/07/2023: Nivel freático 17,72 m (antes de empezas a perforar)

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Juez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
20,5																		
21,0				Limolita														
21,5																		
22,0																		
22,1																		
22,2																		
22,3																		
22,4																		
22,5																		
23,0																		
23,1																		
23,2																		
23,3																		
23,4																		
23,5																		
24,0																		
24,1																		
24,2																		
24,3																		
24,4																		
24,5																		
25,0																		
25,5																		

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
26,0																	
26,5																	
27,0																	
27,5																	
28,0																	
28,5				Limolita													
29,0																	
29,5				Arenisca													
30,0																	
30,5																	

Pérdida de agua

0 100



Afección

0 4



Fracturas



Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
31,0																		
31,5																		
32,0																		
32,5																		
33,0																		
33,5										X			5	0				Limo y arcilla
34,0										X			5	10				
34,5																		
35,0																		
35,5																		

 Pérdida de agua
 0 100

 Afección
 0 4

Fracturas

Leyenda afección

NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 11S
 Capa M Zona Barrera junto I1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 21/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 27/07/2023

Profundidad: 39,90 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas												
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno						
36,0																			
36,5																			
37,0																			
37,5				Nivel freático 18.90 m Arenisca															
38,0																			
38,5																			
39,0																			
39,5																			
				Fin de sondeo a 39,9 m															

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

26/07/2023: Fin de jornada a 37,2 m.

27/07/2023: Nivel freático 25,35 m (antes de empezar a perforar).

Fin de jornada a 39,9 m (fin de sondeo).

Nivel freático: 23,77 m

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688
**REGISTRO DE SONDEO: 01S
Capa M Zona Barrera junto O1**
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
0,0				Hormigón													
0,5				Relleno de limos, gravas y bolos.													
1,0																	
1,5																	
2,0																	
2,5				Limolita alterada.													
3,0				Limolita bioturbación.													
3,5																	
4,0																	
4,5																	
5,0																	

Pérdida de agua
0 100

Afección 0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Revestimiento hasta 2,2 m.

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 01S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Juez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
5,5								X				<1	90	
6,0														
6,5														
7,0								X				3	5	
7,5														
8,0								X				3	80	
8,5								X	X			3	0	
9,0												<1	80	
9,5														
10,0														

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

 27/0/2023: Fin de jornada a 9,7 m. Nivel freático 9,15 m.
 28/07/2023: Seco (antes de empezar a perforar).

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 01S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
10,5																	
11,0																	
11,5																	
12,0																	
12,5																	
13,0																	
13,5																	
14,0																	
14,5																	
15,0																	

Pérdida de agua

0 100



Afección

0 4



Fracturas



Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 01S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno	
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)
15,5				Limolita con pasadas de arenisca.				X			3	40	Contacto limo/arenisca
16,0				Limolita con arenisca que en profundidad aumenta la fracción arena.				X			3	5	
16,5								X			4	0	
17,0								X			5	0	
17,5				Arenisca				X			2	5	
18,0								X		X	<1	20	
18,5								X			1	20	
19,0								X			1	0	
19,5				Limolitas con arenisca				X			3	0	
20,0								X		X	<1	10	
								X			3	45	
								X			1	0	
								X			1	0	
								X			1	0	
								X			2	0	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 01S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
20,5																	
21,0																	
21,5																	
22,0				Limolita con microconglomerado													
22,5																	
23,0				Limolita													
23,5																	
24,0																	
24,5																	
25,0																	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

28/07/2023 Fin de jornada a 21,7 m. Nivel freático 16,2 m.

31/07/2023: Nivel freático 18,9 m (antes de empezar a perforar).

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: O1S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
25,5																		
26,0																		
26,5																		
27,0																		
27,5																		
28,0				Arenisca gris con fracturas y signos de afección.														
28,5																		
29,0																		
29,5																		
30,0																		

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: O1S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno	
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)
30,5								X	X		3/<1	0/80	Poliuretano
31,0								X	X		<1	80	Poliuretano negro
31,5								X			<1	70	Trazas de poliuretano
32,0								X		X	<1	70	Manchas negras
32,5								X			<1	70	
33,0													
33,5													
34,0								X			5	10	
34,5													
35,0								X			1	5	
35,5								X			1	0	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

31/07/2023: Fin de jornada a 35,10 m. Nivel freático 18,90 m.

01/08/2023: Nivel freático 24,00 m (antes de empezar a perforar).

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: 01S
 Capa M Zona Barrera junto O1

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas													
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno							
35,5				Arenisca con fragmentos de limolita.				X			10	30	Manchas negras							
			X						10	30										
36,0											X				5	10				
36,5											X				10	30				
37,0											X				5	10				
											X				1	0				
37,5			Arenisca					Arenisca				X				5	0			
							X							10	0					
38,0																X			5	0
38,5																X			10	0
39,0											X			5	0					
39,5											X			1	0					
40,0											X			5	5	Arena				
40,5											X									

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688
**REGISTRO DE SONDEO: O1S
Capa M Zona Barrera junto O1**
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 27/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 01/08/2023

Profundidad: 43,30 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
40,5																		
41,0																		
41,5																		
42,0																		
42,5																		
43,0				Fin de sondeo a 43,30 m.														

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

01/08/2023: Fin de jornada a 43,30 m (fin de sondeo).

Nivel freático 23,49 m

Nº Proyecto: 60694688
**REGISTRO DE SONDEO: BAL-1
Plataforma P196**
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200 Telescopico.Oruga

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 12/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 12/07/2023

Profundidad: 5,0 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
0,0				Hormigón													
0,5				Relleno de gravas.													
0,5				Conglomerado en matriz arenosa. Fractura													
1,0																	
1,5																	
2,0				Arenisca con microconglomerado, bioturbación.													
2,5																	
3,0																	
3,5																	
4,0																	
4,5																	
5,0				Fin de sondeo a 5 m.													

Pérdida de agua
0 100

Afección 0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: BAL-3
 Plataforma P196

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 18/07/2023

Diámetro de perforación: 116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 18/07/2023

Profundidad: 5,0 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno						
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)					
0,0				Hormigón														
0,5				Relleno de gravas.														
0,5				Limolita roja con bioturbación.														
1,0																		
1,5																		
2,0																		
2,5																		
3,0				Microconglomerados.														
3,5																		
4,0																		
4,5																		
5,0				Fin de sondeo a 5,0 m.														

Pérdida de agua
 0 100

NOTAS:
Afección

0 4

Fracturas
Legenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: BAL-5
 Plataforma P196

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

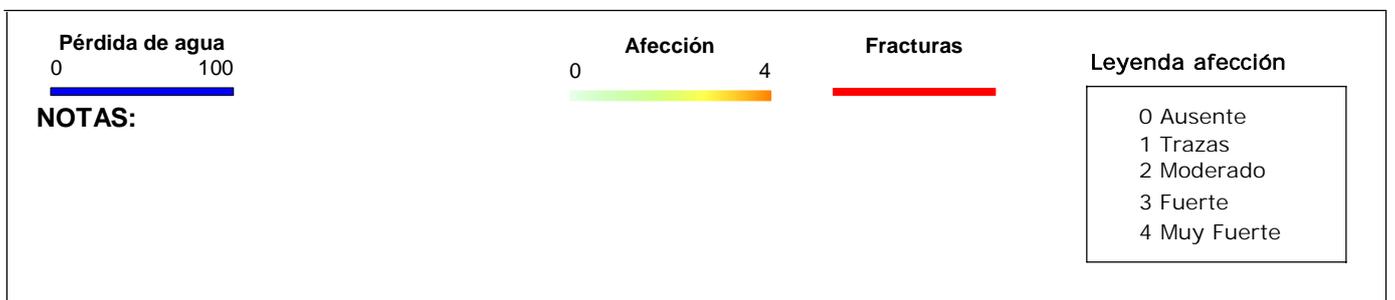
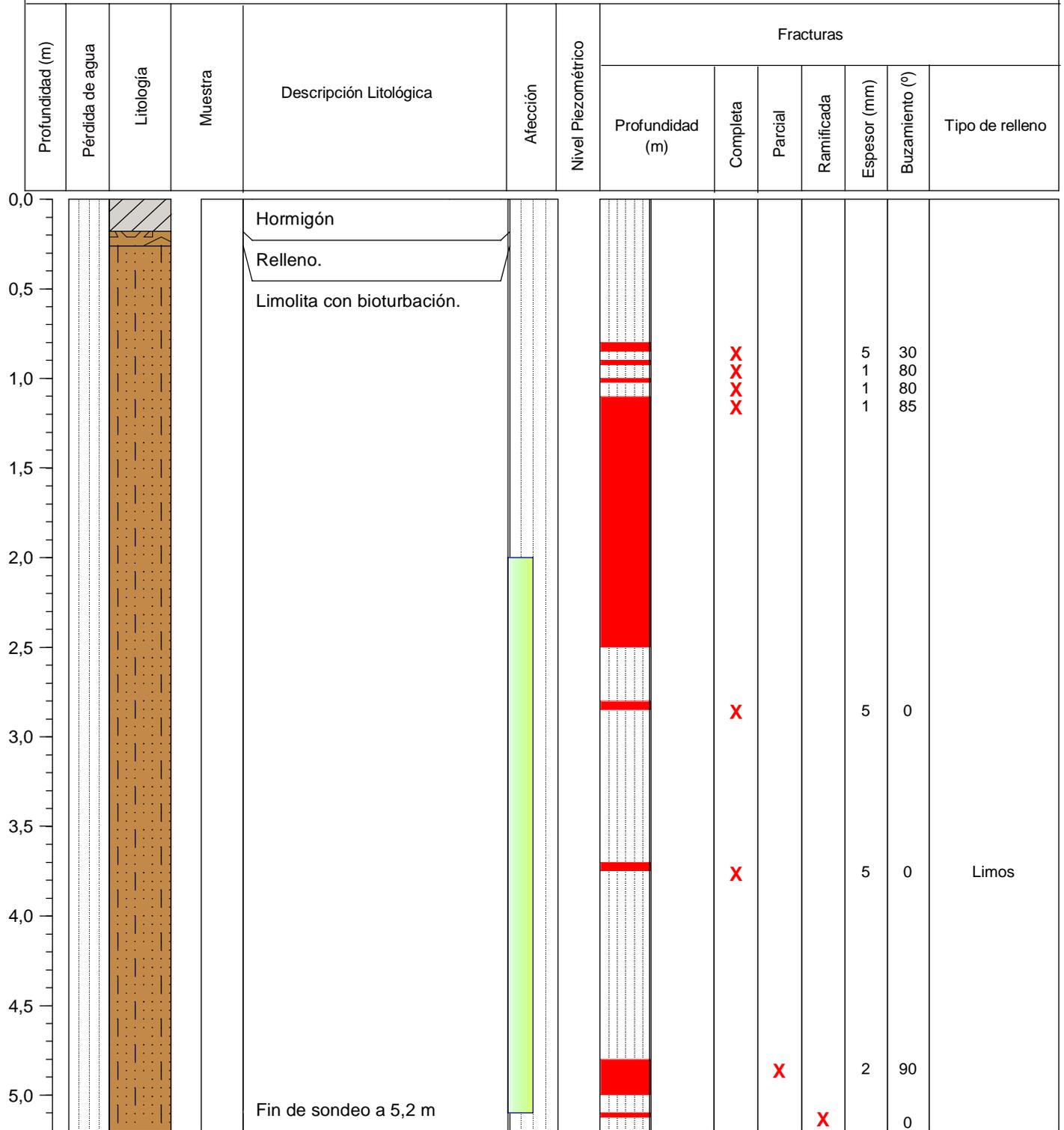
Fecha de inicio: 18/07/2023

Diámetro de perforación: 131/116/101 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 18/07/2023

Profundidad: 5,2 m



Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: BAL-6
 Plataforma P196

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 19/07/2023

Diámetro de perforación: 116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 19/07/2023

Profundidad: 5,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas									
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno			
0,0				Hormigón												
0,0				Limolita con bioturbación.												
0,5																
1,0																
1,0									X				10	5		Lutita
1,0									X	X			5	80		Lutita
1,0									X				5	0		Lutita
1,5																
2,0									X				1	85		
2,5																
3,0																
3,5									X				5	5		
4,0										X			1	15		
4,5																
4,5									X				<1	0		
5,0				Fin de sondeo a 5,1 m												

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: BAL-7
 Plataforma P196

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 20/07/2023

Diámetro de perforación: 116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/07/2023

Profundidad: 5,3 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno	
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)
0,0				Hormigón									
0,0				Relleno.									
0,0				Limolita con bioturbación.									
0,5								X		2	0	Limos y arcillas	
0,5								X		10	40		
0,8									X	<1	0		
1,5								X		10	30	Limos y arcillas	
2,7								X		10	20	Limos y arcillas	
2,8								X		10	20	Limos y arcillas	
4,0				Limolitas. Zona fracturada relleno de limolita.				X		150	0		
4,8								X		5	0	Limos y arcillas	
5,3				Fin de sondeo a 5,3 m									

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Legenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: BAL-8
Plataforma P196

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90 °

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 20/07/2023

Diámetro de perforación: 116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/07/2023

Profundidad: 5,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
0,0				Hormigón													
0,0				Relleno.													
0,5				Limolita con bioturbación.													
1,0																	
1,5																	
1,5									X			5	45				Arcilla
1,5									X			5	45				Arcilla
1,5									X			3	90				Arcilla
2,0																	
2,5																	
3,0				Fractutado limo arcilloso-arenoso.					X			200	0				Limo arenoso
3,5																	
4,0																	
4,5									X			20	0				
4,5																	
5,0				Fin de sondeo a 5,1 m					X			10	45				

Pérdida de agua
0 100

Afección
0 4

Fracturas

Leyenda afección

NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas									
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno			
0,0				Arenas y gravas (relleno).												
0,5				Gravas y suelo vegetal (relleno).												
1,0				Gravas y bolos de arenisca (relleno).												
1,5																
2,0				Arenisca gris.					X			<1	85			
2,5																
3,0									X			3	20			
3,5									X			3	20			
4,0																
4,5									X			3	20	Arcilloso		
5,0																

 Pérdida de agua
 0 100

 Afección
 0 4

Fracturas

Leyenda afección

NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
5,0																		
5,5																		
6,0																		
6,5									X				3	15				
6,5									X				3	5				Arcilloso
6,5									X				3	10				
7,0																		
7,5									X				3	0				Arcilloso
8,0																		
8,5																		
9,0									X				3	10				
9,0									X				2	10				
9,5																		
10,0																		

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
15,5								X				<1	0	DNAPL leve olor
16,0								X				2	5	DNAPL leve olor
16,5								X				<1	10	DNAPL leve olor
17,0								X				3	0	Fuerte olor
17,5								X				3	10	Fuerte olor
18,0								X				<1	15	Leve olor
18,5								X				3	0	Relleno DNAPL fuerte olor
19,0								X				10	15	Fragmentos de arenisca fuerte olor
19,5								X						
20,0								X						

Sigue la arenisca. Vena subvertical de limolita de 8 a 18 mm de espesor.

Fin vena de limolita.

Pérdida de agua
0 100

Afección
0 4

Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas						
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno
20,5								X			5	0	Irisdiscondial fuerte olor
21,0								X			8	0	Fuerte olor
21,5								X			3	0	Irisdiscondial fuerte olor
22,5				Contacto arenisca y limolita con buzamiento 85°				X			3	15	Arena fuerte olor
22,8								X			3	0	
23,2				Limolita roja con bioturbación litificada con arenisca.				X			2	20	
24,5				Arenisca con intercalaciones de limolita.				X			<1	10	
25,0								X			<1	10	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

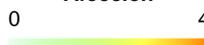
Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas						
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno
25,5				Limolita con bioturbación litificada por arenisca.				X			<1	5	
26,0				Arenisca con interdigitaciones de limolita.				X			2	5	Gotículas de fase relleno de arenas
26,5								X			2	0	Gotículas de fase
27,0													
27,5									X		3	10	Gotículas
28,0									X		2	5	Gotículas
28,5									X		2	20	
29,0									X		3	5	Arcilloso olor fuerte DNAPL
29,5									X		2	20	Olor DNAPL
30,0													

Pérdida de agua
 0 100

Afección

Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

 Fin 18/10/2023 a 29,3 m. NF 14,80 m.
 Inicio 19/10/2023. NF 19,90 m.

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P224

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria: JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
30,5								X				3	10	
31,0				Arenisca con nódulos de limolita roja.				X				<1	30	Arenoso
31,5								X				<1	25	Arenoso
32,0				Tramo de interdigitación entre arenisca y limolita.				X				2	20	Arenoso
32,5								X				2	30	Fuerte olor relleno arenoso
33,0				Desde 32,6 m, domina la fracción limolita.				X				3	5	Arenoso
33,5								X				<1	30	
34,0								X						
34,5				Limolita roja con fragmentos de arenisca hasta 35,4 m de profundidad.				X						
35,0								X				2	20	Posible fractura de maniobra

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 19/10/2023 a 31,6 m.

Inicio 20/10/2023. NF 20,40 m.

Nº Proyecto: 60694688
REGISTRO DE SONDEO: P224
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 17/10/2023

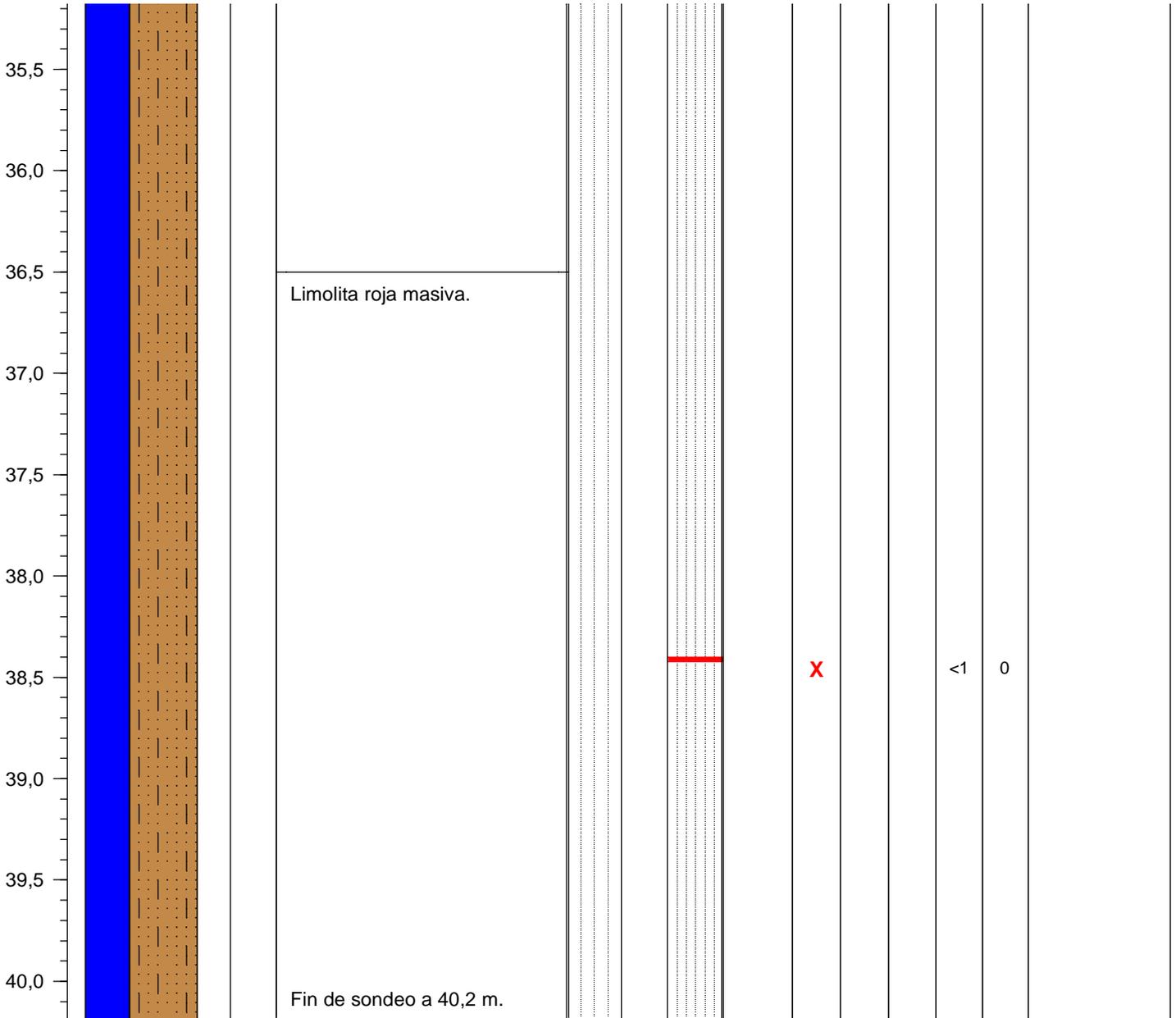
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 20/10/2023

Profundidad: 40,2 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas				
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)


Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

 Fin 20/10/2023. Fin de sondeo a 40,2 m. NF 15,77 m
 NF 21,86 m 23/10/2023

Nº Proyecto: 60694688
**REGISTRO DE SONDEO: P225
Plataforma zona O**
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

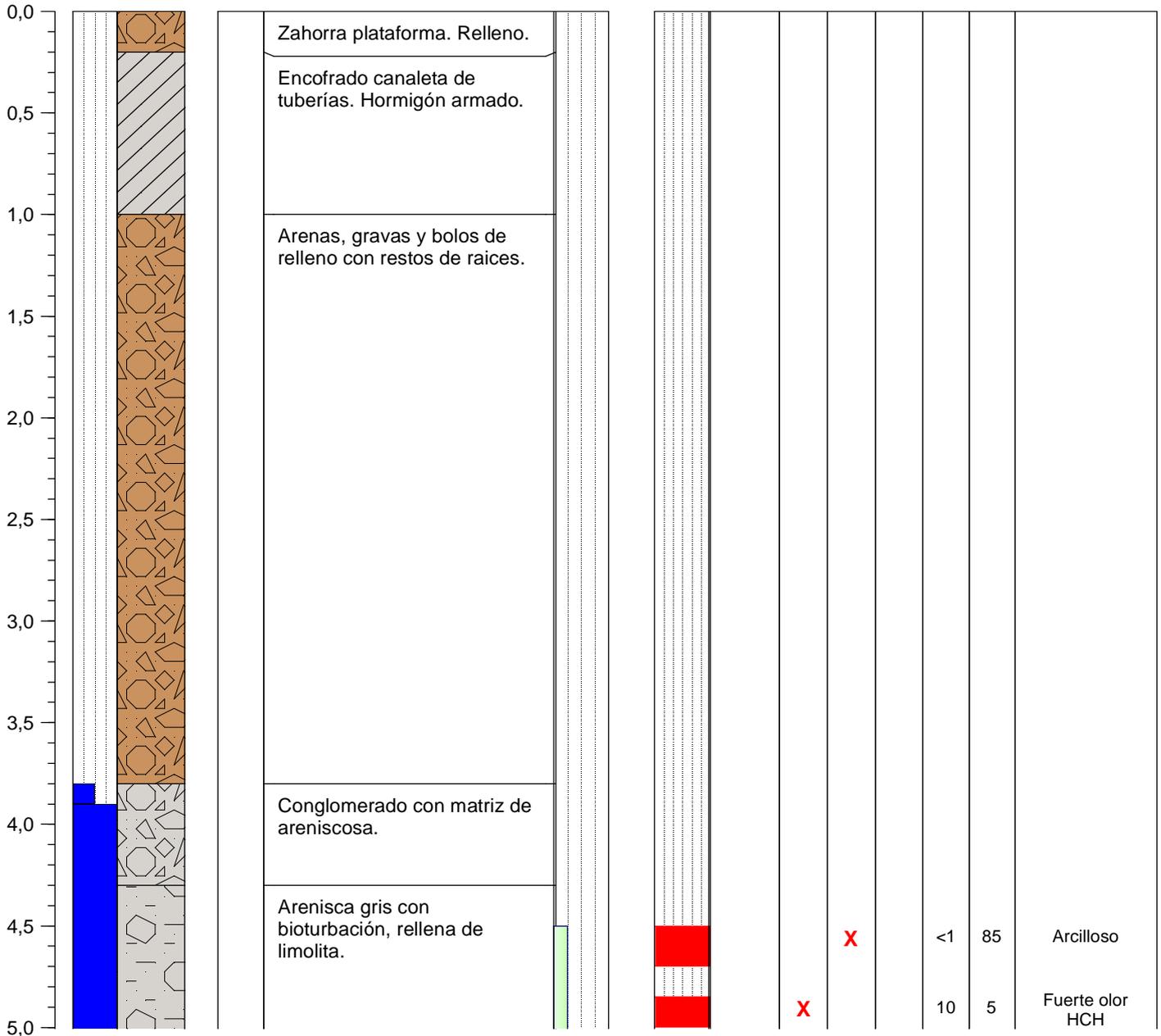
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)


Pérdida de agua
0 100

Afección 0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
5,0								X				5	5	Leve olor
5,5														
6,0								X				3	0	Leve olor
6,2								X				2	20	Arenoso
6,4								X				<1	5	Arenoso fuerte olor coloración rojiza
6,5								X	X			<1	90	
6,6								X				15	25	
6,7								X		X		10	25	
6,8												<1	25	
7,0														
7,4								X				2	10	Olor moderado HCH
7,5								X				3	10	
8,0												4	90	
8,5														
9,0				Tramo fracturado debido a la perforación.										
9,2												<1	90	Limoso
9,5														
10,0														

Pérdida de agua
 0 100

NOTAS:
Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas													
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno							
10,0																				
10,5									X				<1	0						Fuerte olor HCH
11,0									X				<1	0						Costras rojas
11,5																				
12,0									X				2	5						Arenas y arcillas
12,5									X				3	5						Arenas y arcillas
13,0																				
13,5																				
14,0									X				4	5						Arenas y arcillas
14,5													<1	90						Arenas y arcillas
15,0									X				4	0						Arenas y arcillas
									X				<1	20						Areanas, leve olor

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 23/10/2023 a 14,00 m. Seco.

Inicio 24/10/2023. Seco.

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria: JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
15,0																		
15,5																		
16,0																		
16,5																		
17,0									X				<1	15				
17,5																		
18,0									X				<1	15	Arenas, relleno limoso/arenoso leve olor			
18,5									X				2	0				
19,0																		
19,5																		
20,0									X				3	15	Arenoso			
									X				4	20	leve olor			
									X				8	15	Fuerte olor DNAPL			
									X				10	20	Signos afección fuerte olor			

Pérdida de agua

0 100

NOTAS:

Afección

0 4

Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

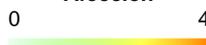
Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
20,0																		
20,5																		
21,0										X				5	0			fuerte olor
21,5										X				2	0			
22,0										X				3	5			
22,5				Arenisca con matriz limolítica y algún canto subredondeado areniscoso de 23 a 24,1 m.						X				2	10			
23,0										X				3	15			Manchas negras fuerte olor
23,5										X				2	0			Olor moderado HCH
24,0										X				3	10			Olor moderado HCH
24,5				Contacto arenisca con limolita roja.						X				2	10			
25,0										X				2	5			
										X				<1	5			Arenoso
										X				1	15			

Pérdida de agua
 0 100

NOTAS:
Afección

Fracturas

Legenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas									
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno			
25,0				Limolita roja con interdigitaciones y bioturbación rellena de arenisca.												
25,5									X			2	0	Arenas y arcillas Alta afección goticulas DNAPL		
26,0								X	X		<1	0	Posibles fracturas por perforación			
26,5								X			<1	0				
27,0																
27,5																
28,0																
28,5									X		<1	0				
29,0									X		<1	85				
29,5				Limolita roja masiva.												
30,0																

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 24/10/2023 a 29,0 m. NF 11,50 m.

Inicio 25/10/2023. NF 18,00 m.

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
30,0								X				<1	0	Arcilloso
30,5								X				1	0	Arcilloso
31,0								X				<1	0	
31,5								X				2	0	Arcilloso
32,0														
32,5														
33,0								X				<1	0	Arcilloso
33,5								X				<1	0	Arcilloso
34,0								X				<1	10	Arcilloso
34,5								X				3	0	Arcilla impregnada DNAPL (posible acumulación fondo maniobra)
35,0														

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4


Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P225
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 23/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 26/10/2023

Profundidad: 40 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
35,0								X				3	10	Arcilloso
35,5														
36,0								X				2	10	Arcilloso
36,5														
37,0								X				1	8	Arcilloso
37,5														
38,0								X				4	0	Arcillo-sacarenoso DNAPL
38,5														
39,0														
39,5								X				<1	5	Arcilloso
40,0				Fin de sondeo a 40,0 m.										

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 25/10/2023 a 38,4 m. NF 9,90 m.

Inicio 26/10/2023. NF 16,57 m.

Fin 26/10/2023. Fin de sondeo a 40,0 m. NF 13,84 m.

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas									
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno			
0,0				Zahorra. Relleno.												
0,5				Suelo vegetal de relleno con gravilla.												
1,0				Gravas y limos de relleno.												
1,5				Gravas y arenas de relleno.												
2,0				Contacto entre conglomerado y arenisca con matriz limolítica. Cantos subredondeados siliclásticos y algún calcáreo.												
2,5				Arenisca con capas de conglomerado de espesor 4-8 cm.												
3,0																
3,5																
4,0																
4,5																
5,0																

Pérdida de agua
 0 100

Afección

Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno								
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)							
5,0																				
5,5				Contacto 85° <1																
6,0																				
6,5				Conglomerado con matriz de arenisca.																
7,0				Cuña de limolita.																
7,5				Arenisca gris con algún canto disperso.																
8,0																				
8,5																				
9,0																				
9,5																				
10,0																				

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 26/10/2023 a 6,2 m. Seco.

Inicio 27/10/2023. Seco.

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
10,0																		
10,5																		
11,0																		
11,5																		
12,0																		
12,5																		
13,0																		
13,5																		
14,0																		
14,5																		
15,0																		

Pérdida de agua

0 100



Afección

0 4



Fracturas



Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
15,5																		
16,0																		
16,5																		
17,0				Arenisca Zona fracturada.					X				1	20				
17,5									X				3	45			Arena	
18,0									X				<1	90				
18,5									X				<1	90			Arenoso ocre	
19,0				Arenisca Final de maniobra.					X				4	0			Mucho olor DNAPL	
19,5									X				8	20			DNAPL gotas DNAPL gotas Relleno arenoso-arcilloso	
20,0									X									

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Fin 27/10/2023 a 15,2 m. NF 11,0 m

Inicio 30/10/2023. Seco

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno	
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)
20,5				Arenisca.				X			4	10	
21,0				Zona fracturada.				X			5	10	
21,5													
22,0				Fin de maniobra.				X	X		4	0	
22,5											<1	90	
23,0								X			<1	20	Arenoso
23,5													
24,0								X			<1	0	
24,5													
25,0													

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Fin 30/10/2023 a 22,2 m. NF 11,9 m

Inicio 31/10/2023. NF 16,2 m

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
25,5				Arenisca.				X				2	30	
26,0								X				1	0	
26,5								X				2	0	Arcilloso-arenoso
27,0				Lutita bioturbada. Relleno de arenisca.						X		<1	50	
27,5				Lutitas.				X				<1	5	
28,0								X				<1	0	
28,5				Contacto arenisca / limolita.				X				2	0	
29,0				Fin de maniobra.										
29,5														
30,0				Limolita con inclusiones de arenisca.				X				2	0	

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas						
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno
30,5								X			2	10	Fuerte olor
31,0													
31,5				Fin de maniobra.									
32,0													
32,5													
33,0													
33,5													
34,0													
34,5				Fin de maniobra.				X			1	30	Poca afección DNAPL
								X			2	0	Relleno arcilloso
35,0													

Pérdida de agua

0 100



Afección

0 4



Fracturas



Leyenda afección

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P226
 Plataforma zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 26/10/2023

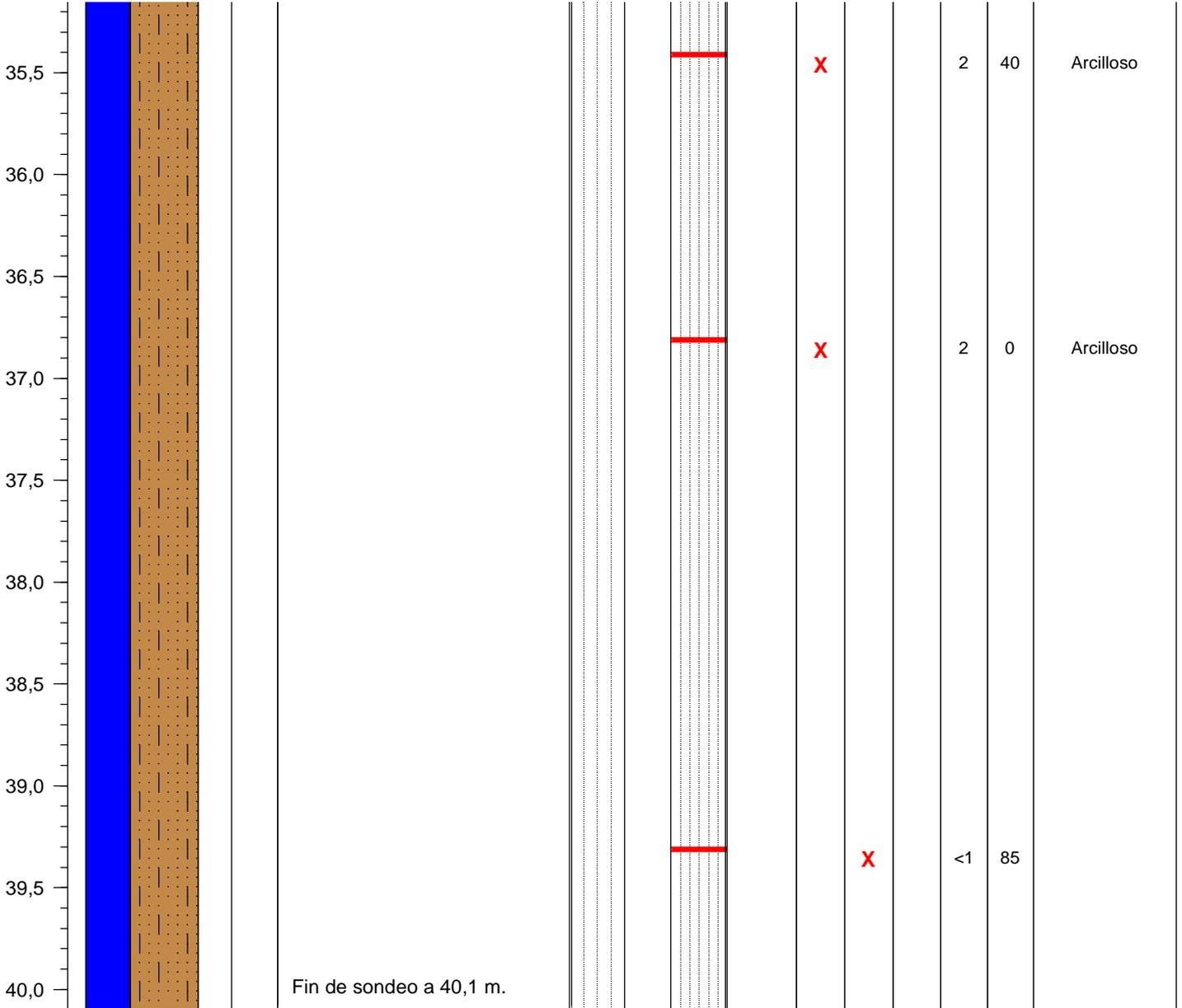
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 02/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas				
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)


Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Fin 31/10/2023 a 37,5 m. NF 11,3 m.

Inicio 2/11/2023. NF 17,2 m.

Fin 2/11/2023 a 40,1 m. Fin de sondeo. NF 13,0 m

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno	
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)
0,0				Relleno aluvial. Arcilla y cantos									
0,5				Relleno más compacto									
1,0													
1,5				Limolita									
2,0													
2,5				Limolita y lutita									
3,0													
3,5				Lutita y arenisca									
4,0													
4,5				Fin maniobra									
5,0				Limolita roja con inclusiones de arenisca y restos de									

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688
**REGISTRO DE SONDEO: P227
Vial zona O**
Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas										
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno				
5,0				bioturbación													
5,5				Contacto arenisca y limolita													
6,0				Arenisca gris													
6,5																	
7,0				Fin maniobra													
7,5																	
8,0				Arenisca y hormigón del sellado de un sondeo de 9,1 m a 11,5 m de profundidad													
8,5																	
9,0																	
9,5																	
10,0																	

Pérdida de agua
0 100

Afección 0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas											
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno					
10,0																		
10,5				Tramo muy fracturado														
11,0																		
11,5				Arenisca														
12,0																		
12,5																		
13,0																		
13,5																		
14,0																		
14,5																		
15,0																		

Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

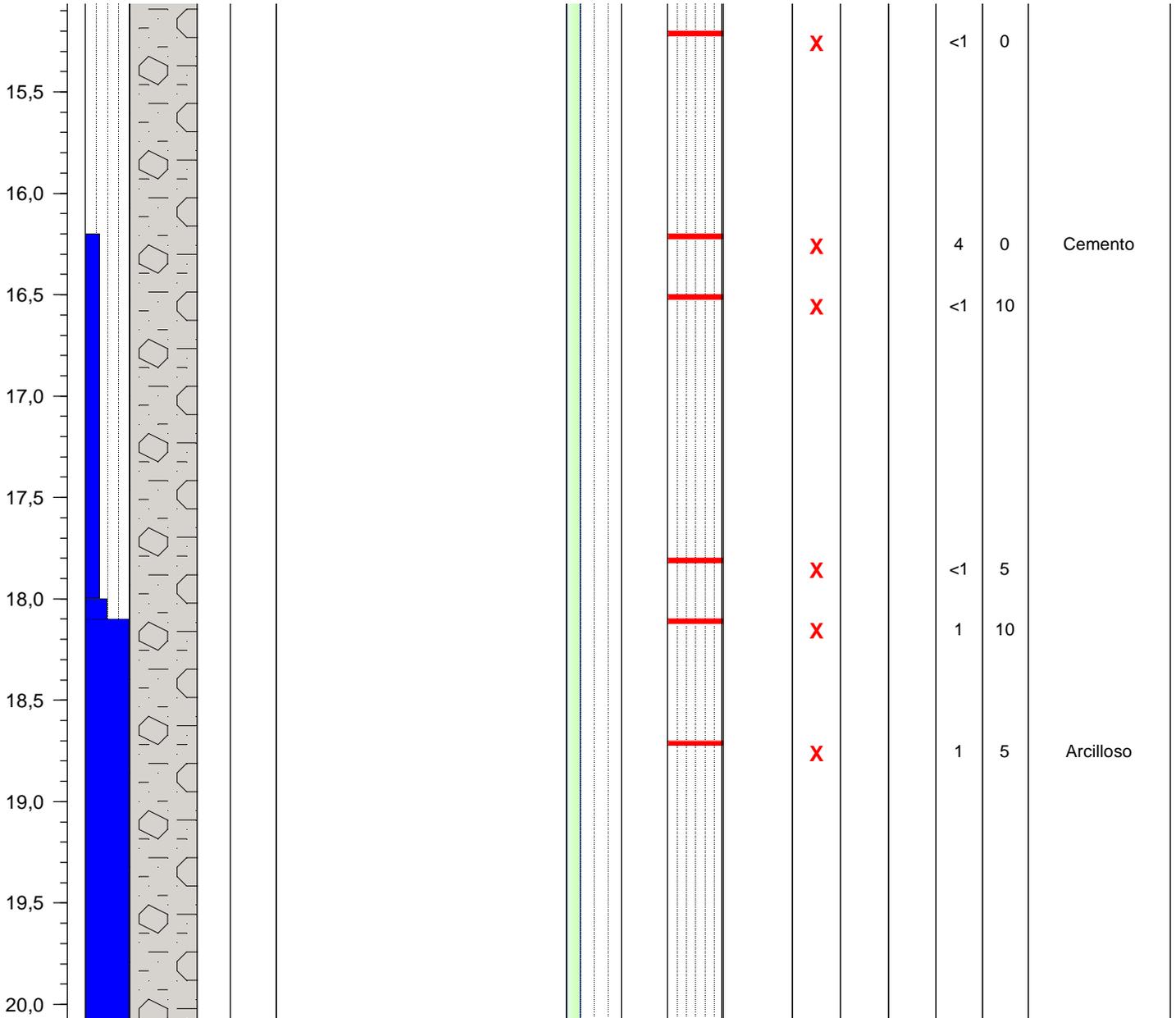
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas				
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)


Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Fin 3/11/2023 a 18,9 m

Inicio 6/11/2023. NF 14,10 m

0 Ausente

1 Trazas

2 Moderado

3 Fuerte

4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

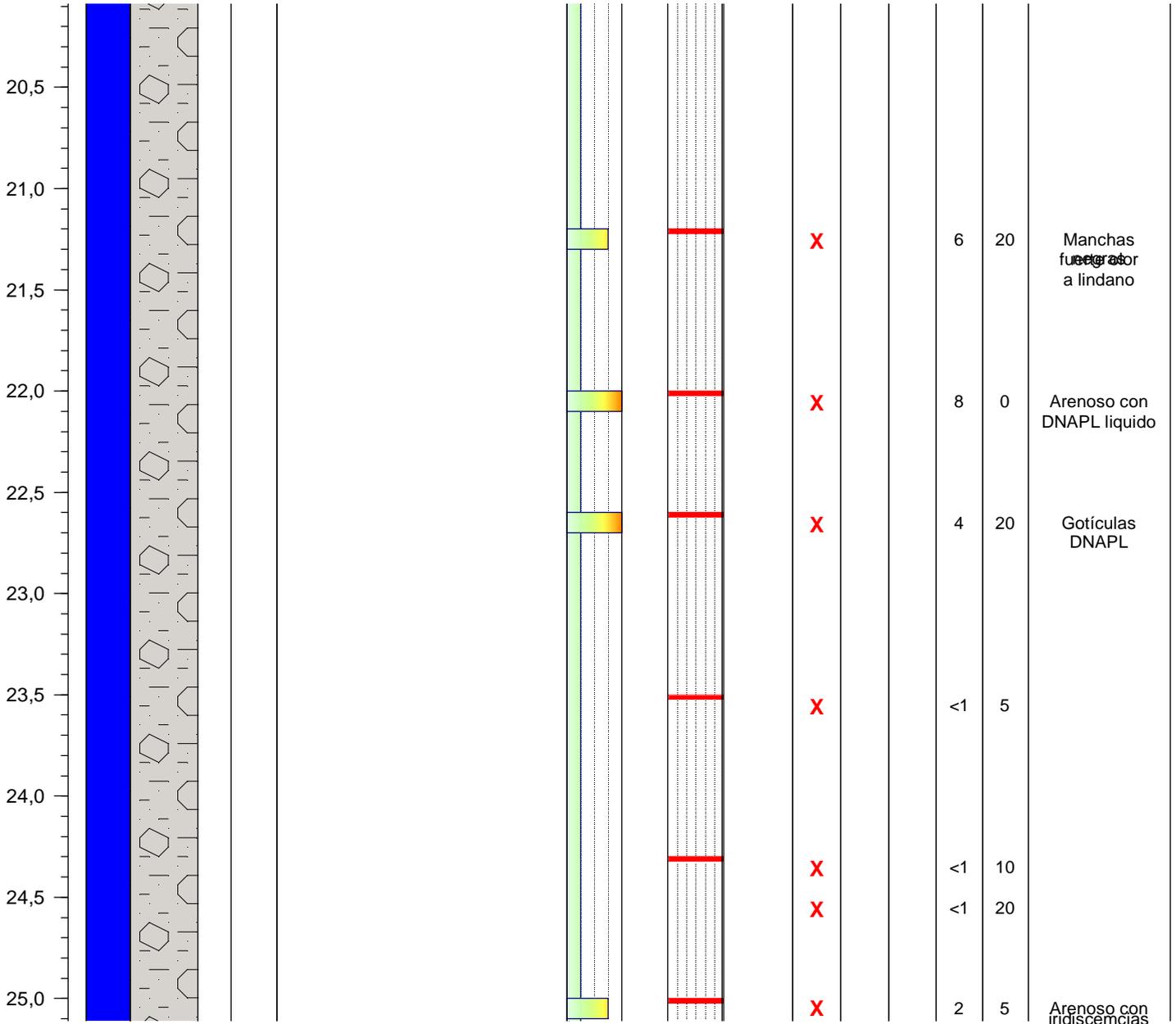
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)


Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas							
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)	Buzamiento (°)	Tipo de relleno	
25,5								X				<1	5	
26,0								X				4	10	Fuerte olor DNAPL
26,5														
27,0								X				1	5	Leve olor
27,5								X				1	5	Leve olor
28,0				Contacto limolita y arenisca. Limolita con bioturbación rellena por arenisca				X				10	0	Arenoso impregnado toda la fractura
28,5								X				5	30	Arenoso manchas DNAPL
29,0								X				4	5	Manchas irregulares relleno arcilla
29,5				Interdigitaciones de arenisca y limolita				X				5	0	
30,0								X				6	0	
								X				6	0	
								X				<1	0	

Pérdida de agua

0 100

NOTAS:

Afección

0 4

Fracturas

Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas					Tipo de relleno						
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)		Buzamiento (°)					
30,5				Limolita bioturbada con relleno y alguna inclusión de arenisca														
31,0				Fin de maniobra					X	X		5	0					Acumulación de DNAPL
31,5																		
32,0																		
32,5																		
33,0									X			<1	85					
33,5																		
34,0									X			<1	0					
34,5									X			5	0					Arcilloso
35,0									X			<1	5					Arcilloso

Pérdida de agua

0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

NOTAS:

Fin 6/11/2023 a 32,8 m. NF 7,20 m

Inicio 7/11/2023. NF14,40 m

Nº Proyecto: 60694688

REGISTRO DE SONDEO: P227
 Vial zona O

Supervisado por: Nacho Judez

Maquinaria : JC1200

Ángulo con la horizontal: 90°

Sondistas: JAREN SL

Fecha de inicio: 03/11/2223

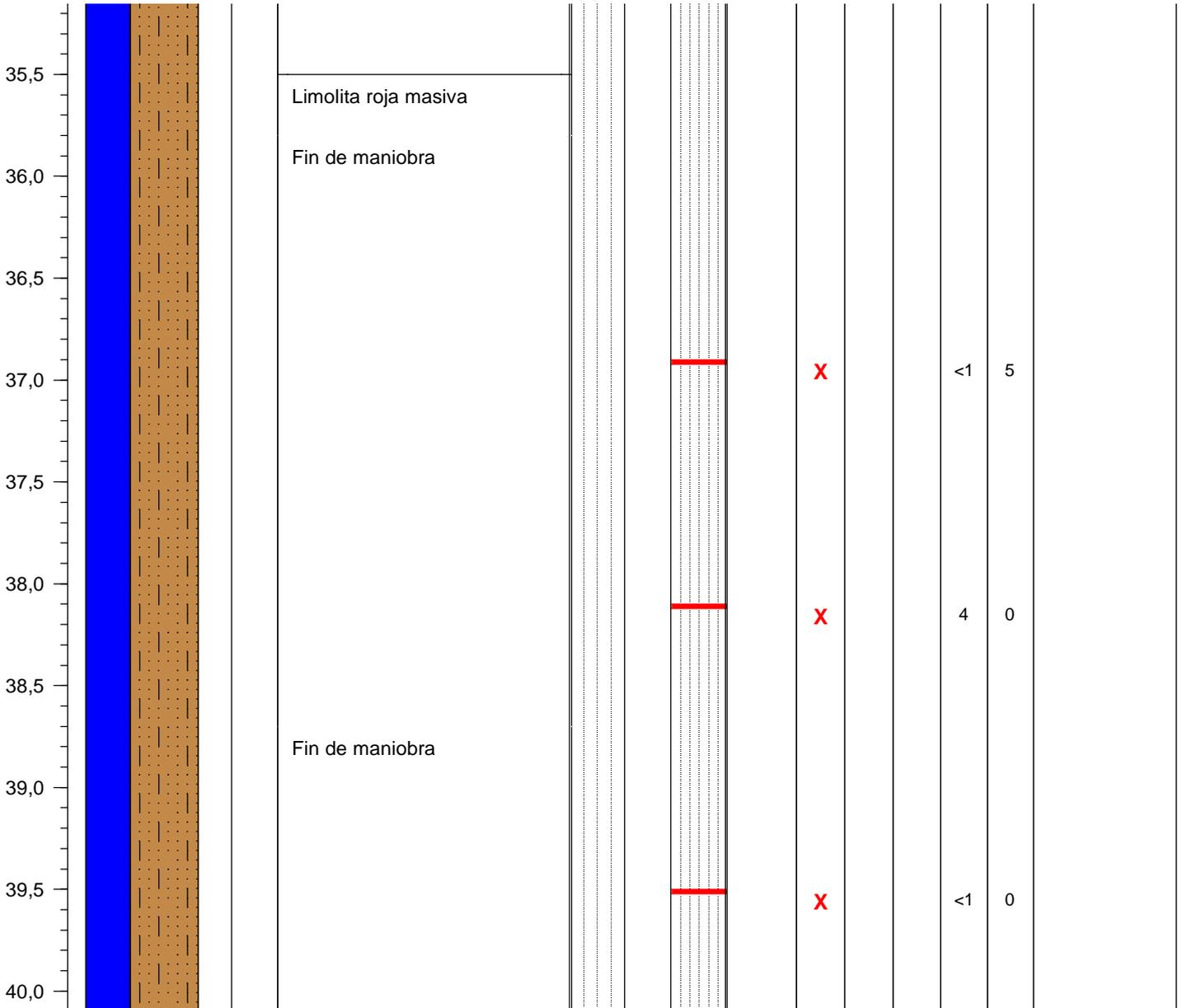
Diámetro de perforación: 131/116 mm

Método: Rotación Extrac. Test. Continuo

Fecha de finalización: 07/11/2023

Profundidad: 40,1 m

Profundidad (m)	Pérdida de agua	Litología	Muestra	Descripción Litológica	Afección	Nivel Piezométrico	Fracturas				
							Profundidad (m)	Completa	Parcial	Ramificada	Espesor (mm)


Pérdida de agua
 0 100

Afección

0 4

Fracturas
Leyenda afección
NOTAS:

Fin 7/11/2023 a 40,1 m. Fin de sondeo. NF 6,84 m

- 0 Ausente
- 1 Trazas
- 2 Moderado
- 3 Fuerte
- 4 Muy Fuerte

Anexo D. Certificados analíticos

[aecom.com](https://www.aecom.com)