



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME TÉCNICO
para
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN
POR LINDANO DEL VERTEDERO DE SARDAS
(SABIÑÁNIGO) EN EL RÍO GÁLLEGO**

INFORME FINAL
TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 52-821-1-001

Madrid, marzo de 2022

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas - Laboratorio de Geotecnia



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

TÍTULO:

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN POR
LINDANO DEL VERTEDERO DE SARDAS (SABIÑÁNIGO) EN
EL RÍO GÁLLEGO**

INFORME FINAL
TOMO ÚNICO

CLIENTE:

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

EL PRESENTE INFORME CONSTITUYE UN DOCUMENTO OFICIAL DE ESTE TRABAJO Y, DE ACUERDO CON LAS NORMAS GENERALES DEL ORGANISMO, SU ENTREGA SUPONE EL CUMPLIMIENTO DE LAS ACTUACIONES TÉCNICAS DEL MISMO REFERENTES A LA MATERIA OBJETO DEL INFORME.

VALIDEZ OFICIAL

VISTO EL CONTENIDO DEL INFORME, SE PROPONE AUTORIZAR SU EMISIÓN.

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE
TÉCNICAS APLICADAS

EL DIRECTOR DEL LABORATORIO DE
GEOTECNIA

Fdo. Javier Cachón de Mesa

Fdo. Fernando Pardo de Santayana

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, marzo de 2022

LA DIRECTORA DEL CEDEX

Fdo. Áurea Perucho Martínez

SÓLO SON INFORMES OFICIALES DEL CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS (CEDEX) LOS REFRENDADOS POR SU DIRECCIÓN.



ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ANTECEDENTES.....	1
1.2	MOTIVACIÓN Y OBJETO	3
1.3	ESTRUCTURA DEL INFORME	4
1.4	LOCALIZACIÓN DEL ÁMBITO DE ESTUDIO.....	5
2	ORDENACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	6
2.1	FUENTES Y TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN	6
2.2	BASES DE DATOS. ESTRUCTURA GENERAL	9
2.3	DATOS CARTOGRÁFICOS Y SIG	10
2.3.1	<i>Topografía y elevación del terreno</i>	<i>10</i>
2.3.2	<i>Delimitación del cauce y el Dominio Público Hidráulico</i>	<i>14</i>
2.3.3	<i>Infraestructuras del vertedero de Sardas</i>	<i>15</i>
2.4	RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS PREVIOS	17
2.5	MODELO GEOLÓGICO.....	21
2.5.1	<i>Margas de Larrés (Eoceno superior)</i>	<i>21</i>
2.5.2	<i>Formaciones fluvio-glaciares del Cuaternario</i>	<i>25</i>
2.6	MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DEL EMPLAZAMIENTO DE VERTEDERO DE SARDAS	27
2.7	VOLATILIZACIÓN Y EVAPORACIÓN DEL HCH.....	30
3	DEFINICIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE INTERÉS	32
3.1	MODELO HIDROLÓGICO. REDES DE AFORO Y DE MUESTREO	32
3.2	FUENTES DE CONTAMINACIÓN	38
3.2.1	<i>Vertedero de Sardas.....</i>	<i>38</i>
3.2.2	<i>Parcelas ubicadas al pie del vertedero</i>	<i>40</i>
3.2.2.1	<i>Rellenos y limos subyacentes</i>	<i>41</i>
3.2.2.2	<i>Acuífero.....</i>	<i>42</i>
3.2.2.3	<i>Sustrato. Margas</i>	<i>43</i>
3.2.3	<i>Fábrica de INQUINOSA.....</i>	<i>44</i>
3.2.4	<i>Sedimentos de colmatación del embalse de Sabiñánigo</i>	<i>44</i>
3.3	ESTABILIDAD Y SELLADO DEL VERTEDERO DE SARDAS.....	45
3.3.1	<i>El vertedero como estructura de tierras por cuyo talud discurre una carretera</i>	<i>45</i>
3.3.2	<i>Sobre la pantalla de bentonita-cemento.....</i>	<i>46</i>
4	DIAGNÓSTICO.....	49
4.1	SELECCIÓN DE EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN POR ISÓMEROS DE HCH A LAS AGUAS DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	49
4.2	ANÁLISIS DE LOS EPISODIOS DE CONTAMINACIÓN POR HCH DE LAS AGUAS DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	52
4.2.1	<i>Estimación del flujo de masa de HCH en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo</i>	<i>52</i>
4.2.2	<i>Correlación del flujo de masa de HCH con parámetros atmosféricos</i>	<i>53</i>
4.2.3	<i>Caracterización de isómeros en los episodios de contaminación.....</i>	<i>56</i>
4.2.4	<i>Comparativa de los episodios de contaminación en Sabiñánigo y Jabarrella</i>	<i>59</i>
4.3	ESCENARIOS DE AFECCIÓN A LAS AGUAS DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO.....	63
5	CONCLUSIONES.....	68
6	PROPUESTAS DE TRABAJOS FUTUROS	71
7	ESTUDIOS Y TRABAJOS CONSULTADOS.....	75
8	EQUIPO DE TRABAJO	81



CEDEX



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN DEL VERTEDERO DE SARDAS Y DE LOS EMBALSES DE SABIÑÁNIGO Y JABARRELLA EN EL RÍO GÁLLEGO	6
FIGURA 2. MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN (IGN, 2021) DE 5 M DE RESOLUCIÓN EN EL ÁREA DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	11
FIGURA 3. CURVAS DE NIVEL DE LA BATIMETRÍA DEL PROYECTO (1963)	12
FIGURA 4 CURVAS DE NIVEL DE LA BATIMETRÍA DE URS (2009)	12
FIGURA 5. CURVAS DE NIVEL EN EL ÁREA DEL VERTEDERO DE SARDAS EN EL ESTADO PREVIO A LA CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO DE SARDAS.....	13
FIGURA 6. CURVAS DE NIVEL DEL ÁREA DEL VERTEDERO DE SARDAS. ESTADO ACTUAL	14
FIGURA 7. DELIMITACIÓN DEL DPH EN EL ÁREA DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	15
FIGURA 8. INSTALACIONES EN EL VERTEDERO DE SARDAS.....	16
FIGURA 9. TRAZADO EN EJECUCIÓN DE LA AUTOVÍA A-23 EN EL TRAMO SABIÑÁNIGO ESTE - SABIÑÁNIGO OESTE PRÓXIMA AL VERTEDERO DE SARDAS	16
FIGURA 10. LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA Y SÍSMICA REALIZADAS EN LAS PARCELAS AL PIE DEL VERTEDERO DE SARDAS (GEOCISA CONSULTORES, 2010).....	17
FIGURA 11. LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA REALIZADAS EN 2013 EN EL VERTEDERO DE SARDAS (GEOCISA CONSULTORES, 2010). ..	18
FIGURA 12. PERFILES Y SONDEOS GEOFÍSICOS REALIZADOS EN LAS PARCELAS AL PIE DEL VERTEDERO ENTRE 2016 Y 2018 (MENODES, 2018).....	19
FIGURA 13. LÍNEAS DE TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA REALIZADAS EN LAS PARCELAS AL PIE DEL VERTEDERO EN 2019 POR EL GRUPO MENODES	20
FIGURA 14. CORTE ESTRUCTURAL A TRAVÉS DE LOS PIRINEOS POR EL ÁREA DE ESTUDIO (MODIFICADO DE LABAUME Y TEIXELL, 2018). ..	22
FIGURA 15. ÁREA DE ESTUDIO. MAPA GEOLÓGICO NACIONAL (MAGNA) A ESCALA 1.50:000. HOJA 177	23
FIGURA 16 FOTOGRAFÍAS DE LAS DISCONTINUIDADES Y LOS FLUJOS DE AGUA OBSERVADOS EN LAS MARGAS DE LARRÉS A VARIAS PROFUNDIDADES EN LOS TALUDES DE CONSTRUCCIÓN DE LA AUTOVÍA A-23 AL N DEL VERTEDERO Y EN LOS TALUDES DE EROSIÓN DEL RIO GÁLLEGO (NOVIEMBRE DE 2021)	24
FIGURA 17. MATERIALES CORTADOS EN LAS EXCAVACIONES REALIZADAS PARA LAS PILAS DEL VIADUCTO DE LA AUTOVÍA A-23. (FOTOGRAFÍA CEDIDA POR LA DEMARCACIÓN DE CARRETERAS DEL ESTADO EN ARAGÓN).	26
FIGURA 18. MODELO CONCEPTUAL HIDROGEOLÓGICO DEL EMPLAZAMIENTO DE VERTEDERO DE SARDAS (MODIFICADO DE EMGRISA 2021).....	27
FIGURA 19 SITUACIÓN Y ESQUEMA DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE INTERÉS.....	33
FIGURA 20. UBICACIÓN DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y DE AFORO Y PUNTOS DE MUESTREO EN EL ENTORNO DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	34
FIGURA 21. SERIES DE NIVELES MÁXIMO Y MÍNIMO DIARIO Y OSCILACIÓN DIARIA EN EL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO.....	35
FIGURA 22. DIAGRAMA DE CAJAS DE LA OSCILACIÓN DE NIVELES DIARIOS DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO	36
FIGURA 23. DATOS DISPONIBLES DE CAUDAL (Q) Y CONCENTRACIÓN DE HCH TOTAL (HCHT (4)) EN LOS PUNTOS DE MUESTREO DEL CHS Y EMBALSE DE JABARRELLA	38
FIGURA 24. CONCENTRACIÓN DE A HCH EN LOS PUNTOS DE MUESTREO ST-1, SPN1 Y ST-2	43
FIGURA 25. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO SPN1 Y ST-2 EN EL ACUÍFERO EN RELACIÓN CON EL VERTEDERO DE SARDAS Y EL PUNTO DE MUESTREO ST-1	43
FIGURA 26. ESTIMACIÓN CONCEPTUAL DE LA RED DE FILTRACIÓN POR DEBAJO DE LA PANTALLA DE BENTONITA-CEMENTO	47
FIGURA 27: CONCENTRACIÓN DE HCH Y CAUDAL DIARIO MEDIDOS EN EL CHS (PERÍODO 2016-2021)	51
FIGURA 28. FLUJO DE MASA DE HCH Y CAUDAL DIARIO MEDIDOS EN EL CHS (PERÍODO 2016-2019).....	52
FIGURA 29. MASA ACUMULADA DE HCH CIRCULANTE EN LOS AÑOS 2017, 2018 Y 2019 POR EL CHS	53
FIGURA 30 CAUDALES REGISTRADOS EN EL ARROYO DE BAILÍN Y PRECIPITACIÓN DIARIA EN LA ESTACIÓN DE SABIÑÁNIGO.	54
FIGURA 31. PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN LA ESTACIÓN METEOROLÓGICA DE SABIÑÁNIGO Y FLUJO DE MASA ACUMULADA ANUAL DE HCH CIRCULANTE POR EL CHS	54
FIGURA 32. COTA DEL NIVEL DEL AGUA EN EL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO Y FLUJO DE MASA ACUMULADA ANUAL DE HCH CIRCULANTE POR EL CHS	55
FIGURA 33. TEMPERATURA MEDIA DIARIA DEL AIRE EN LA ESTACIÓN DE SABIÑÁNIGO Y FLUJO DE MASA ACUMULADA ANUAL DE HCH CIRCULANTE POR EL CHS	56



FIGURA 34. PORCENTAJE DE ISÓMEROS DE HCH RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE HCH MEDIDO EN EL CHS	57
FIGURA 35. PORCENTAJE DE ISÓMEROS DE HCH RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE HCH MEDIDO EN LOS VERTIDOS DE SARDAS Y DE INQUINOSA	58
FIGURA 36. CONCENTRACIÓN DE HCH Y CAUDAL DIARIO MEDIDOS EN EL RÍO GÁLLEGO EN LA ESTACIÓN DE JABARRELLA (PERÍODO 2008-2019). NOTA: NO SE REPRESENTAN LOS VALORES MÁXIMOS DE MÁS DE 9 MG/L QUE SE ALCANZARON EN 2014 Y 2015 POR FACILITAR LA VISUALIZACIÓN DEL RESTO DE EPISODIOS.	60
FIGURA 37. CAUDAL Y CONCENTRACIÓN DE HCH EN EL RÍO GÁLLEGO MEDIDOS EN JABARRELLA EN 2017	61
FIGURA 38. MASA ACUMULADA DE HCH CIRCULANTE EN EL AÑO 2017 POR EL RÍO GÁLLEGO EN JABARRELLA	61
FIGURA 39. CAUDAL Y CONCENTRACIÓN DE HCH EN EL RÍO GÁLLEGO MEDIDOS EN JABARRELLA EN 2018	61
FIGURA 40. MASA ACUMULADA DE HCH CIRCULANTE EN 2018 POR EL RÍO GÁLLEGO EN JABARRELLA.....	62
FIGURA 41. CAUDAL Y CONCENTRACIÓN DE HCH EN EL RÍO GÁLLEGO MEDIDOS EN JABARRELLA EN 2019	62
FIGURA 42. MASA ACUMULADA DE HCH CIRCULANTE EN 2019 POR EL RÍO GÁLLEGO EN JABARRELLA.....	62
FIGURA 43. PORCENTAJE DE ISÓMEROS DE HCH RESPECTO A LA CONCENTRACIÓN TOTAL DE HCH MEDIDO EN EL RÍO GÁLLEGO EN JABARRELLA ENTRE 2014 Y 2019.....	63



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. SELECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DATOS NECESARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN (VER PIE DE TABLA PARA ACRÓNIMOS Y SIGLAS)	7
TABLA 2. RECONOCIMIENTOS GEOFÍSICOS REALIZADOS EN LAS PARCELAS AL PIE DEL VERTEDERO DE SARDAS ENTRE 2016 Y 2018 (MENODES, 2018)	19
TABLA 3. PRESENCIA DE DNAPL EN GRAVAS Y ARENAS EN LAS PARCELAS AL PIE DEL VERTEDERO DE SARDAS	42





ANEJOS

ANEJO I BASE DE DATOS DE HIDROMETEOROLOGÍA: HIDROMETEO.ACCDB

ANEJO II BASE DE DATOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SEDIMENTOS Y SUELOS: SEDIMENTOS.ACCDB

ANEJO III BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: SUBTERRÁNEAS.ACCDB

ANEJO IV BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES: SUPERFICIALES.ACCDB

ANEJO V GEOLOGÍA

V.1 GEOLOGÍA REGIONAL

V.2 VERTEDERO DE SARDAS

V.2.1 *Vertedero*

V.2.1.1 Generalidades

V.2.1.2 Relleno

V.2.1.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

V.2.1.4 Formación Margas de Larrés

V.2.2 *Pantalla*

V.2.2.1 Generalidades

V.2.2.2 Relleno

V.2.2.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

V.2.2.4 Margas

V.2.3 *Parcelas al pie del vertedero*

V.2.3.1 Generalidades

V.2.3.2 Relleno

V.2.3.3 Fondo de Valle. Limos arcillosos

V.2.3.4 Depósitos aluviales. Gravas y arenas

V.2.3.5 Marga alterada

V.2.3.6 Margas

V.3 PRESA Y EMBALSE DE SABIÑÁNIGO

V.3.1 *Generalidades*

V.3.2 *Sondeos en el embalse*

V.3.3 *Sedimentos aluviales actuales*

V.3.4 *Depósitos aluviales. Gravas y arenas*

V.3.5 *Arenisca margosa*

V.3.6 *Sondeos en la orilla del embalse*

ANEJO VI LITOLOGÍA DE SUELOS

ANEJO VII REPRESENTACIÓN DE SONDEOS CON VOXLER

ANEJO VIII HIDROMETEOROLOGÍA

VIII.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA

VIII.2 ESQUEMA HIDRÁULICO Y GESTIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

VIII.3 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA APORTADORA AL VERTEDERO DE SARDAS

VIII.4 PIEZOMETRÍA

ANEJO IX ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL VERTEDERO DE SARDAS

IX.1 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DEL LINDANO, PRODUCCIÓN Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

IX.2 CONTAMINANTES PRESENTES EN EL VERTEDERO DE SARDAS

IX.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS FASES DNAPL Y LNAPL DE SARDAS

IX.4 VÍAS DE DEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE HCH

ANEJO X ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN RELLENOS Y LIMOS

ANEJO XI ANÁLISIS DE ISÓMEROS DE HCH EN AGUA Y SEDIMENTOS



CEDEX



1 INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La Comisaría de Aguas de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) ha propuesto al Área de Aplicaciones Isotópicas (AAI) del Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas (CETA) y al Laboratorio de Geotecnia (LG) del CEDEX una colaboración para el estudio de la afección por lindano al río Gállego en el embalse de Sabiñánigo.

Este encargo responde al interés de la CHE por resolver la problemática de los vertederos de residuos tóxicos y peligrosos y contaminaciones históricas, y se suma al esfuerzo importante realizado en el periodo 2015-2021 para minimizar el efecto de la contaminación procedente de la fabricación de lindano en Sabiñánigo, como se contempla en el Esquema de Temas Importantes de la Demarcación Hidrográfica del Ebro de diciembre de 2020 para el Tercer ciclo de planificación hidrológica (2021-2027). En él se hace referencia a la afección y mal estado cualitativo por el indicador lindano, el isómero gamma del 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano (HCH), de las masas de agua situadas aguas abajo del embalse de Sabiñánigo: 569 (Río Gállego desde la presa de Sabiñánigo hasta el río Basa), 571 (Río Gállego desde el río Basa hasta el río Abena) y 573 (Río Gállego desde el río Abena hasta el río Guarga, aguas abajo de la central de Jabarrella junto al azud de Javierrelatre). Este hecho se hace patente, para los objetivos concretos de este encargo, por la detección de episodios en los que la concentración de isómeros de HCH en el agua del río Gállego en el embalse de Jabarrella, aguas abajo de los vertederos de Sardas y Bailín, supera los valores de referencia de concentración del Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre, por el que se establecen los criterios de seguimiento y evaluación del estado de las aguas superficiales y las normas de calidad ambiental (NCA). En él se fijan los siguientes valores para la suma de la concentración de todos los isómeros de HCH en aguas superficiales continentales: concentración media anual (MA) de 0,02 $\mu\text{g/L}$ y concentración máxima admisible (CMA) de 0,04 $\mu\text{g/L}$.

Entre los trabajos antecedentes realizados hasta la fecha son especialmente relevantes los 4 informes de seguimiento de la contaminación en el río Gállego realizados durante los años 1989 y 1990 por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX a petición de la Dirección General de Obras Públicas, Hidráulicas y de Medio Ambiente (DGOPHMA), el proyecto de remediación resultado del “Acuerdo de encomienda de gestión” del Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MARM) a la Empresa para la Gestión de Residuos Industriales S.A. (EMGRISA) en 2009, los trabajos coordinados por la CHE en las inmediaciones del embalse de Sabiñánigo en 2010 y las diversas líneas de trabajo coordinadas por el Gobierno de Aragón (GA) encargadas a diferentes empresas desde un primer estudio de diagnóstico de 1991, desarrolladas posteriormente al amparo del “Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020, Construyendo Europa desde Aragón”. Entre los resultados de estos últimos trabajos destacan los informes anuales de seguimiento “hidrogeológico de Sardas” desde 2010 y del “estado ecológico de los cauces en la cuenca del río Gállego” desde 2006.

El vertedero de Sardas se dispuso en las inmediaciones del embalse de Sabiñánigo sobre 2 cárcavas afluentes al río Gállego en su margen izquierda, excavadas en materiales margosos de baja permeabilidad. Desde la década de 1960 funcionó durante unos 30 años para el depósito de un total de unos 400 000 m^3 de residuos urbanos e industriales. Entre ellos se encontraban algunos considerados peligrosos, como el lindano, producido por la antigua fábrica perteneciente a las Industrias Químicas del Noroeste S.A.



(INQUINOSA). Esta fábrica estuvo activa desde 1975 hasta 1988 y cesó su actividad definitivamente en 1992.

Los trabajos del CEDEX de 1989 y 1990 detectaron en las aguas del río Gállego, en el embalse de Sabiñánigo y hasta un punto ubicado inmediatamente aguas abajo del vertedero de Bailín, concentraciones de la suma de cuatro isómeros (α , β , γ y δ) del HCH superiores a $0,1 \mu\text{g/L}$, el valor máximo permitido entonces por la Orden Ministerial de 12 de noviembre de 1987 en lo que a objetivos de calidad se refiere.

El vertedero se clausuró entre los años 1992 y 1997. Esta clausura fue ligeramente posterior a la construcción de la carretera de circunvalación N-330/E-7, cuyas obras atravesaron el vertedero y extendieron parte de los residuos sobre el terreno comprendido entre dicha carretera y el río Gállego.

Tras la construcción de esta carretera, el vertedero se selló en 1994 mediante impermeabilización en la parte superior con lámina y tierra revegetada y la ejecución de pantallas perimetrales de una profundidad entre 0 y 6 m. El fondo del vertedero es de roca margosa que entonces se consideró impermeable, por lo que no se dispuso de impermeabilización inferior. En su borde inferior junto a la carretera N-330/E-7 dispone además de una pantalla impermeable de 125 m de longitud, 0,6 m de espesor, construida con bentonita-cemento y que alcanzaría una profundidad entre 6 y un máximo de 20 m, penetrando 0,5 m en el sustrato margoso. Se dispusieron chimeneas para la emisión de gases y de un pozo para evacuar los lixiviados que se acumularan en el trasdós de la pantalla del frente. Dispone además de drenajes de recogida de pluviales y lixiviados del vertedero y de una red de piezómetros de control.

En las parcelas situadas al pie del vertedero, al este de la N-330/E-7 hasta la orilla izquierda del embalse de Sabiñánigo, se depositaron entre 35 000 y 50 000 m^3 de residuos movilizados durante la construcción de la carretera. Sobre estos materiales no se instaló entonces material aislante ni inferior ni superiormente. En este terreno se instaló inicialmente una planta depuradora móvil de carbón activo para el tratamiento de lixiviados y actualmente alberga una nueva depuradora, 2 balsas de decantación, 2 depósitos de residuos y un sistema de drenaje perimetral e interno.

En 2005, detectaron concentraciones altas de HCH en los análisis de muestras de agua y suelo extraídas de sondeos y calicatas a partir de un estudio de reconocimiento del subsuelo de estas parcelas, lo que motivó el refuerzo del seguimiento medioambiental.

En febrero de 2009 se detectaron lixiviados con alta concentración de isómeros de HCH, benceno, clorobenceno y compuestos organoclorados en la cuneta al pie de la carretera y del vertedero. Esta situación condujo a la *Resolución de 16 de febrero de 2009, de la Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Departamento de Medio Ambiente del Gobierno de Aragón, a la declaración del suelo contaminado para cualquier tipo de uso, los terrenos situados en el entorno del vertedero de Sardas y a la implementación de un conjunto de estudios para la identificación de contaminantes en suelos y agua, así como para la definición de medidas de actuación. Éstos concluyeron que existía contaminación de HCH en el agua y suelo hasta el sustrato margoso en grado diferente, generalizada en los rellenos, relevante en los depósitos aluviales constituidos por limos superficiales y gravas, en el techo de las margas y presencia en la fracturación de las margas a 28 m de profundidad, así como la existencia de una pluma de vertido subterráneo que atravesaría la carretera N-330/E-7 desde la parte norte del vertedero hacia el embalse y de diversas vías de migración del residuo en fase densa hacia el embalse. Estos estudios pusieron también de manifiesto la deficiente impermeabilización del vertedero que permitía la entrada de un caudal medio de*



agua de 20 a 30 m³/día, de respuesta rápida a las precipitaciones, que era drenado por el agua subterránea hacia el acuífero aluvial y por rezumes superficiales en la cuneta de la carretera.

En ese mismo año se inició un plan de depuración y una red de extracción de líquidos densos no acuosos (Dense Non Aqueous Phase Liquid o DNAPL) en fase libre en Sardas con un volumen total extraído de este residuo de más de 12.000 litros en 2020, que pretendía limitar la contaminación del agua de salida del vertedero. En los años posteriores, se han intensificado los estudios de las vías de transporte de contaminantes y de su impacto en el río Gállego y en el acuífero aluvial conectado al río en el embalse de Sabiñánigo. En 2018 se ha iniciado la aplicación de técnicas de degradación de los contaminantes presentes en el vertedero y en los sedimentos del acuífero aluvial. La eficacia de las acciones emprendidas se evalúa periódicamente mediante el estudio de los resultados de programas y redes de vigilancia que se van actualizando y ampliando.

1.2 Motivación y objeto

Los resultados de los programas de vigilancia de la calidad del agua del río Gállego muestran que existen vías abiertas de aportación de contaminantes al río entre los embalses de Sabiñánigo y Jabarrella. Una de estas vías se encuentra en el propio embalse de Sabiñánigo y se ha atribuido históricamente al vertedero de Sardas y a la fábrica de INQUINOSA. Otra vía de transporte de contaminantes que puede contemplarse para explicar estos episodios, es la procedente del barranco de El Paco o Bailín, tanto en sus aguas superficiales como en las subterráneas de esta cuenca en la que se ubica el vertedero de Bailín y las formaciones geológicas contaminadas por la ubicación inicial de este vertedero.

El estudio del origen de estos episodios, y más concretamente de los que se podría asignar al vertedero de Sardas en el embalse de Sabiñánigo, ha sido el objeto de selección por la CHE para el encargo al CEDEX. La existencia de estos episodios y, sobre todo, las dudas sobre su origen demandan una inversión elevada en el mantenimiento de acciones de remedio y planes de vigilancia que deben concretarse; mantienen un estado de alerta constante, en el corto y medio plazo, sobre la calidad del agua del embalse de Sabiñánigo y del río Gállego que afecta a los usos del agua; y pueden dificultar el cumplimiento de los objetivos ambientales para las masas de agua afectadas. Estas dudas revelan la existencia de incertidumbres sobre el funcionamiento del sistema hidrológico en el que se ubica el vertedero de Sardas y sobre el transporte de contaminantes al río Gállego en el tramo que va desde el propio embalse de Sabiñánigo hasta el embalse de Jabarrella, cuya resolución es clave para conocer su evolución y determinar la gestión futura del agua y los residuos en esta zona.

El estudio del CEDEX se ha centrado en profundizar en los resultados de los estudios previos para formular hipótesis que expliquen estos episodios. La elaboración de estas hipótesis requiere la definición del sistema hidrológico de interés (composición, geometría, condiciones de borde y balance de masas) sobre el que se postulan modelos conceptuales de funcionamiento y escenarios de posible afección por isómeros de HCH a las aguas del embalse de Sabiñánigo, y sobre la distribución espacial y temporal de los episodios de contaminación observados, y la propuesta de acciones y trabajos futuros que ayuden a evaluar estas hipótesis.

Entre los objetivos y posibles resultados ventajosos de este estudio se contemplan: una mejor integración de los esfuerzos de vigilancia y de experimentación en campo y en laboratorio con los de modelación conceptual y numérica en curso que contribuyan a la consecución de los objetivos ambientales de la planificación hidrológica; una reducción de los costes de gestión a corto, medio y largo plazo; y una mayor



confianza de los técnicos, los gestores y la sociedad en general en la evaluación y la gestión ambiental realizadas.

1.3 Estructura del informe

El presente informe describe los trabajos realizados en el AAI del CETA y en el LG del CEDEX para el “Análisis del Impacto de la Contaminación por Lindano del Vertedero de Sardas (Sabiñánigo) en el río Gállego”. Los trabajos se realizan para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) con un presupuesto de 109.318,50 € y un plazo de ejecución 10 meses desde la comunicación de la orden de encargo al medio propio CEDEX, es decir, desde el 20/01/2021 fecha del oficio de remisión al CEDEX por parte de la CHE hasta el 20/11/2021.

El objeto del trabajo es el estudio de la afección por lindano al río Gállego en el embalse de Sabiñánigo. Son entregables del proyecto:

1. La base de datos cartográfica y una base de datos temporal de la información recopilada.
2. El presente informe de estado con una propuesta de actuaciones para la caracterización adicional de aspectos clave del sistema.

Se contemplan dos tareas principales:

A. Ordenación y análisis de la información.

En este apartado se contempla la recopilación y ordenación de información en base de datos y SIG de la información relativa a:

1. Cartografía geológica del ámbito de estudio y del aluvial del Gállego hasta la confluencia con el barranco de El Paco y vertedero de Bailín.
2. Topografía y elevación del terreno, en la situación actual y en la anterior a la construcción del vertedero de Sardas y a la colmatación del embalse.
3. Caudales registrados en los aforos del Gállego y derivaciones de agua.
4. Piezometría registrada en el aluvial del Gállego.
5. Analíticas superficiales y subterráneas realizadas a lo largo del tiempo en el área de estudio.
6. Delimitación del cauce y zonas con limitación de usos desde la cola del embalse hasta la confluencia con el barranco de Bailín.
7. Embalse y presa de Sabiñánigo:
 - i) operaciones de gestión de niveles en el embalse por el uso hidroeléctrico;
 - ii) batimetrías del embalse actual y anterior a la construcción de la presa;
 - iii) geología y estructura del vaso del embalse para la elaboración de una cartografía de las diferentes unidades litológicas existentes hasta el sustrato margoso de baja permeabilidad;
 - iv) información geológica de la cimentación de la presa de Sabiñánigo para valorar su estanqueidad.
8. Vertedero de Sardas:



- i) geofísica realizada por diferentes empresas en diferentes áreas del vertedero de Sardas;
- ii) resultado del ejercicio de fotogrametría realizado para estimación de la topografía anterior a la instalación del vertedero de Sardas;
- iii) geología de sondeos y catas realizados;
- iv) analíticas de aguas superficiales y subterráneas, así como de las muestras de sólidos extraídas;
- v) analíticas de volátiles en muestras de gases extraídas en la superficie de los suelos contaminados;
- vi) extracciones realizadas de líquidos no acuosos ligeros y densos (LNAPL y DNAPL respectivamente) en la gestión del vertedero;
- vii) inyecciones de surfactantes y tratamientos de degradación aplicados en el vertedero de Sardas;
- viii) términos de balance hídrico y estimación de la escurrentía que recarga el vertedero y moviliza el contaminante.

B. Informe de diagnóstico y propuesta de trabajos futuros

El presente informe se ha dividido en 6 capítulos, uno primero de Introducción en el que se hace una breve descripción de los antecedentes, motivación y objeto del estudio y de la situación de la zona de trabajo; un segundo capítulo donde se expone la forma en que se ha tratado la información alfanumérica y georreferenciada; un tercero en el que se delimita el sistema hidrológico a estudiar; un cuarto donde se realiza el diagnóstico e interpretación de los episodios de contaminación seleccionados; y dos capítulos finales, quinto y sexto, de conclusiones y propuesta de trabajos futuros, respectivamente. Se ha prestado especial cuidado en la propuesta de incorporar técnicas de vigilancia y caracterización pasivas y no agresivas que tengan el mínimo impacto ambiental posible.

1.4 Localización del ámbito de estudio

El vertedero de Sardas se encuentra en la margen izquierda del río Gállego, a la altura del embalse de Sabiñánigo. El municipio y la localización de la antigua fábrica de INQUINOSA se encuentran en la margen derecha del río. Aguas abajo a la cerrada de la presa se encuentra la confluencia del barranco de El Paco, donde se encuentra el vertedero de Bailín, y la presa de Jabarella, donde se miden datos de calidad de aguas (Figura 1).

La forma geométrica que se ha dado al vertedero de Sardas en planta en esta Figura 1 y en el resto del informe corresponde al vertedero propiamente dicho y a las parcelas ubicadas al pie del vertedero, sobre las que se extendieron residuos durante la construcción de la carretera N-330/E-7.



Figura 1. Localización del vertedero de Sardas y de los embalses de Sabiánigo y Jabarrella en el río Gállego

2 ORDENACIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

2.1 Fuentes y tratamiento de la información

La Tabla 1 muestra las principales fuentes de datos recuperados para la realización del informe. Constituye además la guía de la información procesada en este proyecto. En los apartados siguientes se describen con detalle estos datos y el tratamiento dado a los mismos en forma de bases de datos y SIG.

El conjunto de esta información responde a los esfuerzos realizados durante décadas por organismos y centros de investigación de la administración central y autonómica y empresas subcontratadas, y constituye un valioso punto de partida sobre el que ha podido trabajar el CEDEX para cumplir los objetivos de este encargo. El CEDEX reconoce la atención recibida por el Gobierno de Aragón (GA), EMGRISA y SARGA durante las visitas de campo realizadas al emplazamiento del vertedero de Sardas los días 26 de noviembre de 2019, 15 de abril de 2021 y 11 de noviembre de 2021, y la recibida por los representantes de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, UTE y Asistencia Técnica durante la visita de campo realizada y estudio de los taludes del trazado de la Autovía A-23 en el tramo Sabiánigo Este - Sabiánigo Oeste en Huesca. También se reconoce la invitación de la CHE y del GA a las reuniones de presentación de resultados del Seguimiento Hidrogeológico de 2020 en Bailín y Sardas el 15 de abril de 2021 en Sabiánigo, y a la jornada de discusión de los avances de los estudios hidrogeológicos en Sardas el 14 de septiembre de 2021 en Zaragoza.

El CEDEX ha realizado una recopilación y estudio de información y bibliografía adicional sobre aspectos seleccionados de geología (cartografía geomorfológica y glaciario en la zona de estudio), hidrogeología (modelos conceptuales de transporte multifase de DNAPL y LNAPL en acuíferos, y de flujo y transporte de masa y energía en zonas de ribera e hiporreicas), y caracterización, gestión y regulación de emplazamientos contaminados por residuos DNAPL.

Entre las referencias sobre la definición de término fuente y los modelos conceptuales y numéricos a considerar para comprender la migración de contaminantes en fase líquida densa no acuosa DNAPL y sobre las estrategias de confinamiento y restauración aplicadas en un número elevado de casos de referencia destacan Huling y Weaver (1991), Pankow y Cherry (1996), Kueper et al. (2003), Mayer y Hassanizadeh (2005). Una referencia que destaca por la descripción y evaluación de múltiples técnicas de caracterización de emplazamientos afectados por la contaminación de DNAPLs es Stroo y Ward (2010).

Tabla 1. Selección de información y datos necesarios para la caracterización (ver pie de tabla para acrónimos y siglas)

Información	Utilidad y tareas de análisis	Fuentes de información y Base de Datos a que corresponden
Medio Físico-Hidrología		
Cartografía geológica del ámbito de estudio y del aluvial del Gállego hasta la confluencia con el barranco de Bailín	Análisis del contexto geológico, de la posible existencia de fracturas en el sustrato del vertedero y de la composición y geometría de los sedimentos fluvio-glaciares	Mapa geológico continuo del IGME Enlace web al IGME: https://info.igme.es/cartografiadigital/geologica/Geode.aspx Bibliografía adicional Base de datos Sedimentos.accdb
Topografía y cotas del terreno, en la situación actual y en la anterior a la construcción del vertedero de Sardas y a la colmatación del embalse.	Cubicación del vertedero y de la colmatación del embalse una vez procesada la batimetría. Espesores de unidades	MDE IGN 5 m de resolución. Enlace web al centro de descargas del IGN: http://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/catalogo.do?Serie=LIDAR Curvas de nivel del área del vertedero de Sardas previa y posterior a la construcción del vertedero: SIGdata\EmbalseSabi\CartoHis\HistCurvasNivel.shp (fotogrametría) SIGdata\VertederoSardas\InfraEstructural\CurvasNivel.shp Unión de las capas anteriores con las de batimetría SIGdata\EmbalseSabi\CartoHis\Batimetr1963_CurvasNivel_v2.shp SIGdata\VertederoSardas\InfraEstructural\CurvasNivel_v2.shp
Caudales registrados en los aforos del Gállego y derivaciones de agua	Datos para definir el sistema hidrológico y para el cálculo de flujos y balances de masa de contaminantes	SAIH del Ebro Base de datos Hidrometeo.accdb
Piezometría registrada en el aluvial del Gállego y vertedero de Sardas	Flujo subterráneo e interacción con el río. Apoyo al modelo conceptual de dispersión de contaminantes	Datos de la CHE y en las memorias Base de datos Subterráneas.accdb
Análíticas superficiales y subterráneas realizadas a lo largo del tiempo en el área de estudio	Concentración de contaminantes y cálculo de flujos y balances de masa de contaminantes	Base de datos Superficiales.accdb Base de datos Subterráneas.accdb
Delimitación del cauce y zonas con limitación de usos desde la cola del embalse hasta la confluencia con el barranco de Bailín	Afección de obras, operaciones y contaminantes	Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables elaborado por la administración hidráulica



Información	Utilidad y tareas de análisis	Fuentes de información y Base de Datos a que corresponden
Embalse y presa de Sabiñánigo		
Operaciones de gestión de niveles en el embalse por el uso hidroeléctrico	Análisis de las reglas de gestión Condición de contorno del flujo subterráneo	Niveles quinceminutales en la toma del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo (CHS) Hidrometeo.accdb Niveles diezminutales en el cauce inmediato al vertedero de Sardas Subterráneas.accdb
Batimetrías del embalse actual y anterior a la construcción de la presa	Procesamiento de curvas de nivel (1963 y 2009) e interpolación Cálculo de espesores de depósitos de colmatación por diferencia	Batimetrías del embalse: 1963 (situación previa a la colmatación del embalse; necesita ortorreferenciarse, digitalizar las curvas de nivel e interpolarlas) y 2009 (ámbito más reducido y en el límite del vertedero de Sardas). Sus extensiones no concuerdan Batimetría 1963 Z:\SIGdata\EmbalseSabi\CartoHis\Batimetr1963.png Batimetría embalse URS 2009 Z:\SIGdata\EmbalseSabi\BatimetriaEmbalse2009URS.shp
Geología y estructura del vaso del embalse	Cartografía de las diferentes unidades litológicas fluvio-glaciares existentes hasta el sustrato margoso de baja permeabilidad	Catas y sondeos de GEOCISA <u>Base de datos Sedimentos.accdb</u>
Información geológica de la cimentación de la presa de Sabiñánigo	Valorar la estanqueidad del embalse y la posible migración de contaminantes del acuífero a través de discontinuidades del sustrato de la presa	No hay información del proyecto de la presa con descripción litológica <u>Mapa geológico continuo del IGME</u>
Vertedero de Sardas		
Geofísica realizada por diferentes empresas en varias áreas del vertedero de Sardas	Geometría del sustrato y compartimentación interna del sistema	Memorias anuales del GA
Geología de sondeos y catas realizados	Geología en el vertedero, terrenos afectados y vaso del embalse de Sabiñánigo, cubicación de residuos y contaminantes	Memorias anuales del GA <u>Base de datos Sedimentos.accdb</u> . Tabla de litología
Analíticas de aguas superficiales y subterráneas, así como de las muestras de sólidos extraídas	Apoyo a la caracterización de los posibles focos de contaminación del embalse. Caracterización de las reacciones químicas que afectan al transporte de contaminantes	Subterráneas.accdb Sedimentos.accdb
Analíticas de gases extraídas en el vertedero y terrenos afectados a su pie	Apoyo a la caracterización de la situación de contaminación en el entorno e identificación de posibles focos de contaminantes del embalse	No hay información de muestreo. Sí la habría en Bailín.
Extracciones de LNAPL y DNAPL realizadas en la gestión del vertedero	Caracterización del término fuente	Memorias anuales del GA
Inyecciones de surfactantes y tratamientos de degradación aplicados	Valoración de la efectividad de esta técnica de gestión y de los radios de influencia. Evaluación de la posible movilización no controlada de contaminantes	Memorias anuales del GA



Información	Utilidad y tareas de análisis	Fuentes de información y Base de Datos a que corresponden
en el vertedero de Sardas		
Caracterización físico-química del contaminante en fase libre en el vertedero.	Conocimiento de parámetros del DNAPL: Solubilidad; Coeficiente de distribución; Materia Orgánica; Cte Henry; Presión de Vapor; Densidad; Viscosidad; Ángulo de contacto; Tensión interfacial	Presentación del Gobierno de Aragón del Proyecto LIFE Surfing (2019-2022) el día 15 de abril de 2021 Plan de actuación 2017
Términos de balance hídrico en el vertedero y estimación de la recarga y la escorrentía que moviliza los residuos	Estimar los términos de balance hídrico del modelo de recursos. Análisis de piezometría y del esquema de flujo subterráneo	Estaciones meteorológicas de AEMET, SAIH y EMGRISA Hidrometeo.accdb

AEMET: Agencia Estatal de Meteorología

DNAPL: Líquido denso no acuoso

EMGRISA: Empresa para la Gestión de Residuos Industriales, S.A., S.M.E., M.P.

GEOCISA: Empresa de ingeniería

IGN: Instituto Geográfico Nacional

IGME: instituto Geológico y Minero de España

LNAPL: Líquido ligero no acuoso

MDE: Modelo Digital de Elevación

SAIH: Sistema Automático de Información Hidrológica

URS: Empresa de ingeniería

2.2 Bases de datos. Estructura general

Existe un amplio volumen de datos disponible para el análisis de la contaminación del lindano en el río Gállego. Ha sido registrada por iniciativa del GA y de la CHE, así como por las empresas contratadas para la gestión o el análisis del estado de los vertederos y del medio fluvial y embalse.

Todos estos datos se han ordenado en 4 bases de datos principales:

1. Base de datos de hidrometeorología "Hidrometeo.accdb"
2. Base de datos de calidad de aguas superficiales "Superficiales.accdb"
3. Base de datos de calidad de aguas subterráneas "Subterráneas.accdb"
4. Base de datos físico-químicos de sedimentos y suelos "Sedimentos.accdb".

Son respectivamente las bases de datos temáticas dedicadas a datos hidrometeorológicos, de calidad de aguas superficiales, de aguas subterráneas, y de muestras de suelos y sedimentos extraídos a diferentes profundidades en diferentes fechas. Los datos se han obtenido de las publicaciones de los datos de la red de aforos y calidad de la CHE, de la lectura de las memorias anuales de la gestión del vertedero de Sardas elaboradas por el GA e informes puestos a disposición del público en el portal <http://www.stoplindano.es/> y de peticiones expresas realizadas a estas 2 Administraciones.

Las bases de datos se han implementado en el programa ACCESS integrado en el paquete Microsoft Office Professional Plus 2013. La estructura es común a las 4 bases de datos y consta de:



1. Tablas de datos. Se han considerado 3 tipos de tablas en el diseño de la base de datos:
 - i) Tablas de identificación de cada parámetro físico químico y de cada punto de medida;
 - ii) Tablas descriptivas de los campos usados en las tablas de identificación;
 - iii) Tablas de series de muestreo donde se almacenan los datos de cada estación en diferentes fechas. Existen tantas tablas de series como de parámetros muestreados.
2. Consultas y programas de exportación.

Dado que la información tiene procedencia diversa, los códigos de los puntos con información son también diferentes. Aunque se ha conservado la denominación original del punto de medida, se ha realizado una codificación específica y unificada en las bases de datos porque i) la codificación original podía contener información diferente bajo la misma denominación, ii) hay datos del mismo punto obtenidos de diferentes organismos y medios, e iii) incluso hay puntos sin una codificación específica de origen. En el presente informe se han mantenido ambas codificaciones para mayor claridad.

En los Anejos I a IV se describe la ordenación realizada de todos estos datos y los detalles de las tablas y campos considerados para codificar cada bloque de información en las 4 bases de datos.

2.3 Datos cartográficos y SIG

2.3.1 Topografía y elevación del terreno

En el área de Sardas existen 3 fuentes de información relativas a la topografía y elevación del terreno. La primera información procede del Instituto Geográfico Nacional, IGN, (2021) que, a través de su centro de descargas (CNIG), dispone en acceso libre del Modelo Digital del Terreno con paso de malla de 5 m SGR ETRS89 en la Península, Islas Baleares, Ceuta y Melilla y SGR REGCAN95 en las Islas Canarias con proyección UTM en el huso correspondiente.

La Figura 2 muestra este modelo digital en el entorno del embalse de Sabiñánigo, el límite del propio embalse y la localización de la fábrica de INQUINOSA y del vertedero de Sardas.

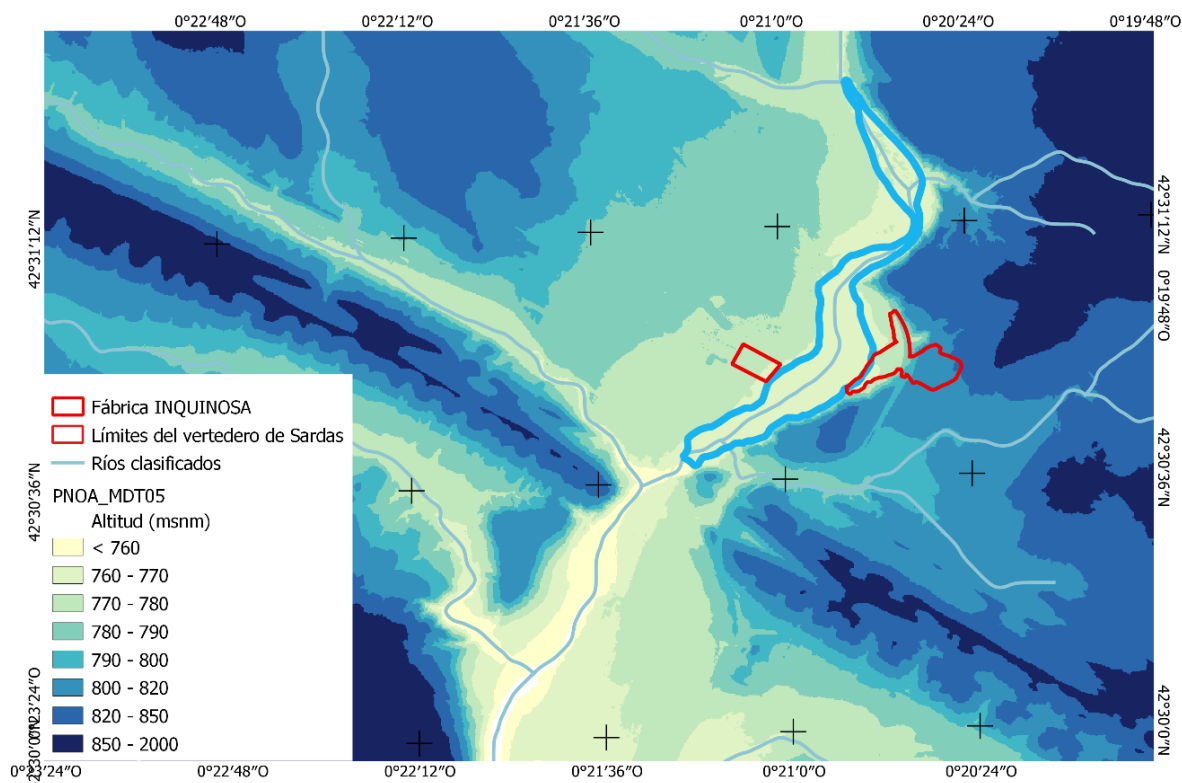


Figura 2. Modelo digital de elevación (IGN, 2021) de 5 m de resolución en el área del embalse de Sabiñánigo

La siguiente información relacionada con la topografía procede de la batimetría del embalse. Y ésta, a su vez, tiene 2 orígenes distintos. Por un lado, está el plano del proyecto de 1963 para la construcción de la presa de Sabiñánigo. El plano se conserva en la CHE. La Figura 3 muestra las curvas de nivel digitalizadas después de una georreferenciación. El plano original está deformado y es una copia en imagen invertida, por lo que la georreferenciación presenta diversos problemas y el resultado está sujeto a incertidumbres. Sin embargo, constituye una información de alto interés al reflejar el estado del río previo a la construcción de la presa y a la colmatación del embalse. La cota mínima en la cerrada era de 755 msnm y la orilla más próxima al vertedero de Sardas se hallaba a una cota entre la de 763 y 764 msnm aproximadamente.

La siguiente información sobre batimetría procede del trabajo realizado por URS (2009) para la CHE. El embalse en esta fecha ya estaba aterrado, por lo que la imagen es completamente diferente a la anterior (Figura 4). Tampoco abarca la extensión de la anterior. Las curvas de nivel se trazaron cada 0,5 m, siendo mínimas en la zona de cerrada (760,0 msnm) y similares a las de 1963 en la orilla próxima al vertedero de Sardas (763,5 msnm).

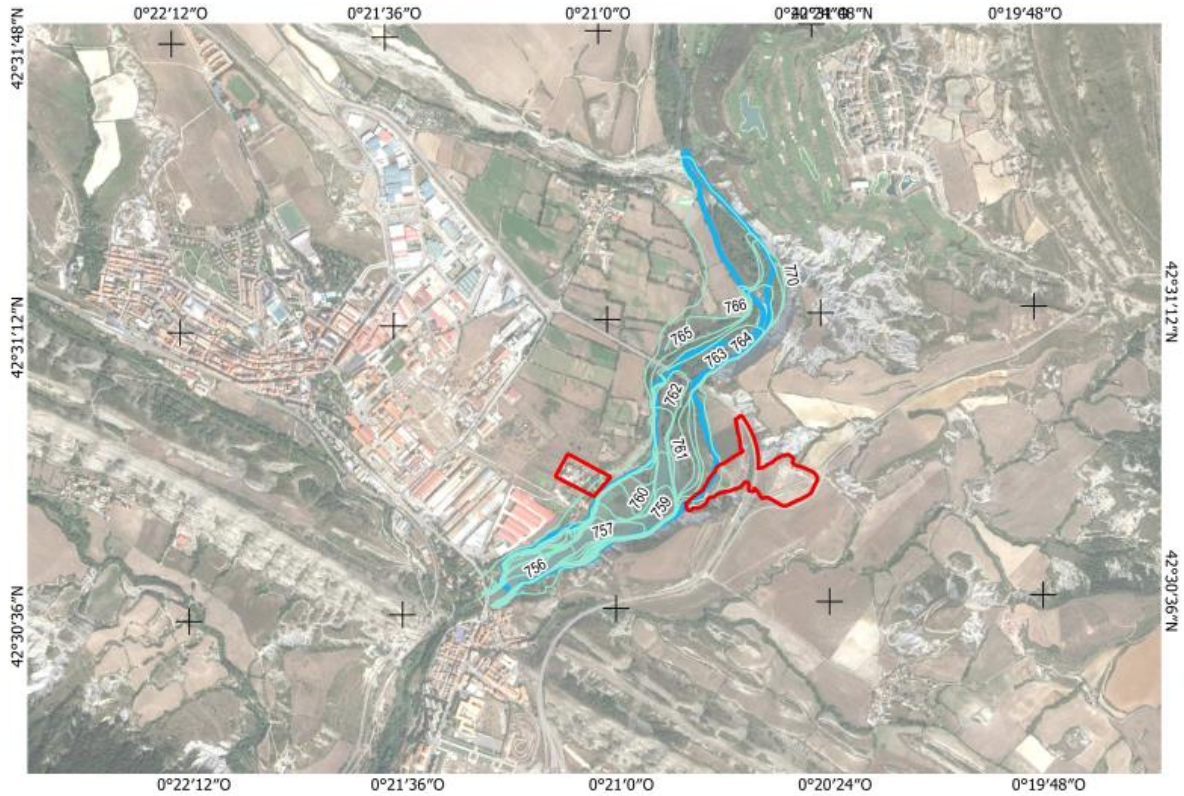


Figura 3. Curvas de nivel de la batimetría del proyecto (1963)

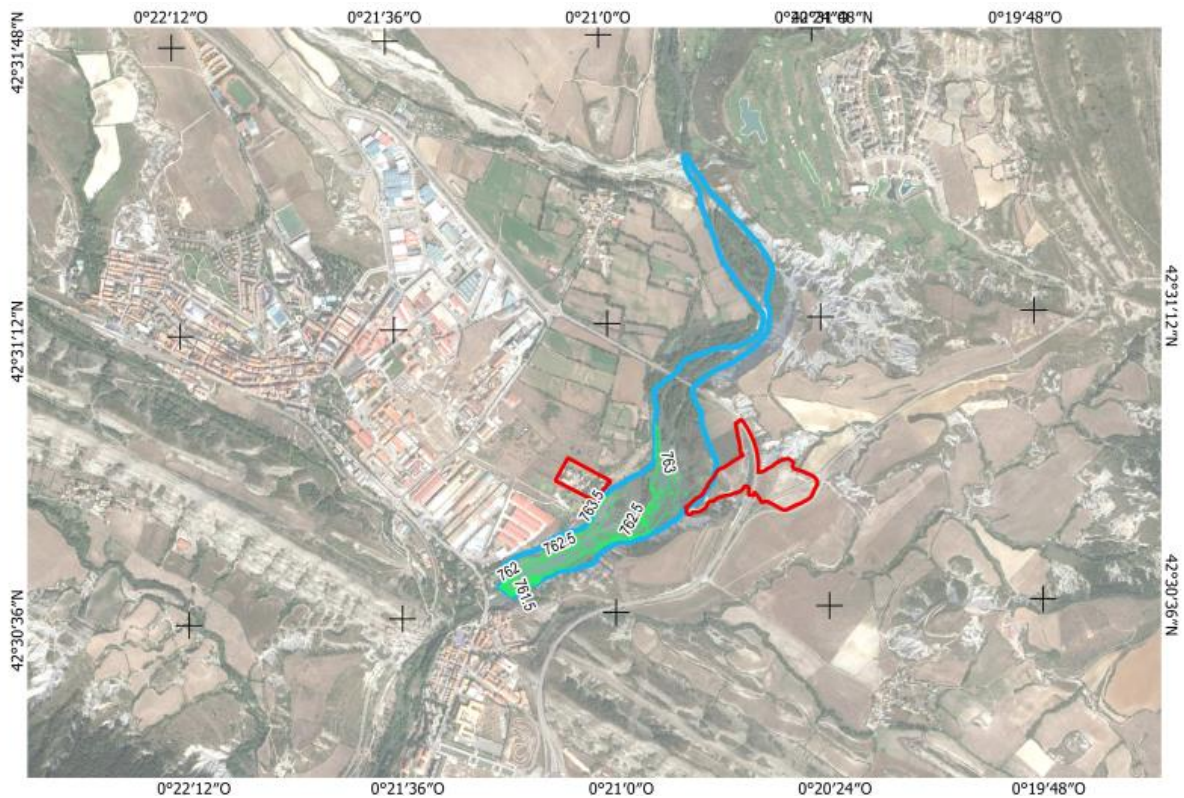


Figura 4 Curvas de nivel de la batimetría de URS (2009)

Finalmente, el tercer grupo de información lo constituye la información topográfica realizada por EMGRISA y el GA en el área del vertedero. La Figura 5 muestra el resultado del trabajo de restitución fotogramétrica (EMGRISA, 2013b) realizado sobre el estado original previo a la construcción del vertedero. Para ello se recurrió a la imagen aérea original de 1956 del “vuelo americano”. Tal como se muestra sobreimpreso en la misma Figura 5, este mapa topográfico permite estimar la red hidrográfica histórica e identificar dos cárcavas principales. La primera está localizada al Norte. Es de menor entidad y se observa encajada en los relieves de margas en cabecera y bajo los rellenos que cubren parcialmente las formaciones aluviales de fondo de valle hacia el río Gállego. La segunda, al Sur, cruza el centro del vertedero también encajada en margas y se une a la primera en dirección al río.

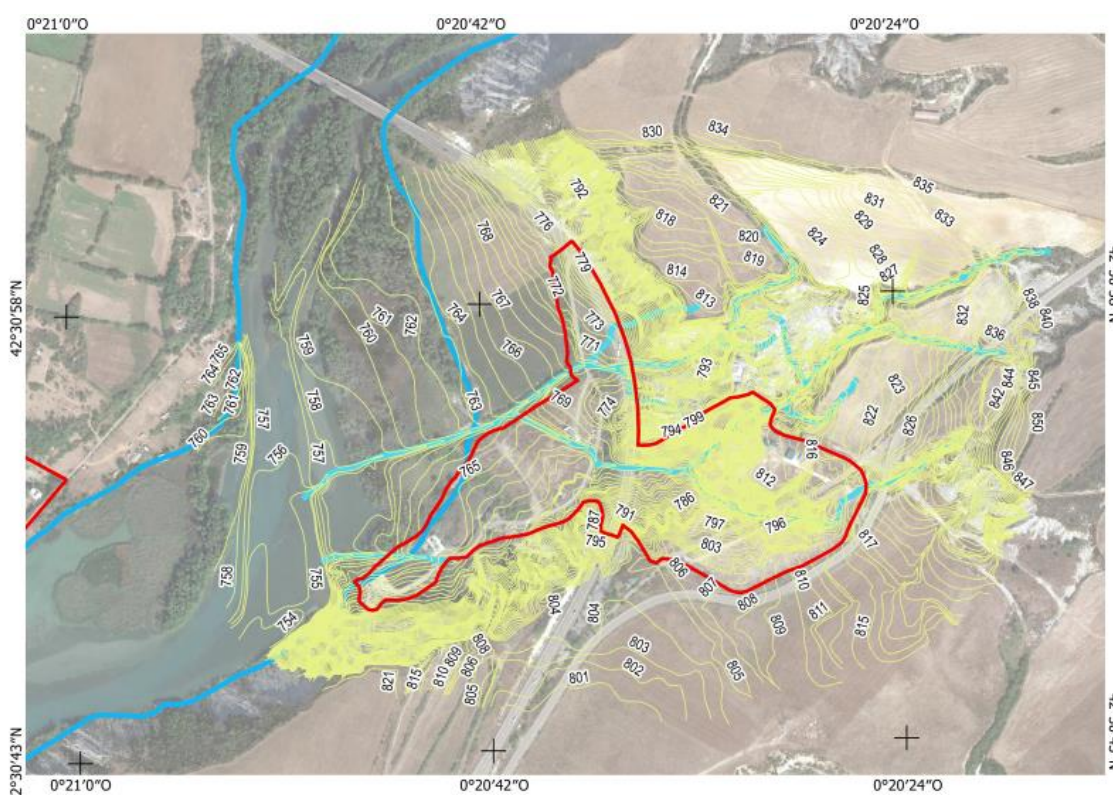


Figura 5. Curvas de nivel en el área del vertedero de Sardas en el estado previo a la construcción del vertedero de Sardas

La Figura 6 muestra el mapa de curvas de nivel del estado actual del vertedero (EMGRISA, 2013b), una vez construida la E-15/N-330 sobre el vertedero inicial. La superposición de la Figura 5 y la Figura 6 permitió estimar según EMGRISA (2013b) un volumen total de residuos en el vertedero (o vaso de vertido) de 375 531,9 m³; en las formaciones aluviales afectadas hacia el río Gállego de 53 287,4 m³; y un volumen de terraplén de 40 453,1 m³. La reestimación de estas cifras conforme a la información de curvas de nivel disponible en los límites del vertedero de Sardas que se muestra en la Figura 5 y la Figura 6 es de 400 560,5 m³ en el vertedero; de 77 846,2 m³ en las formaciones aluviales afectadas; y un volumen de terraplén de 76 517,2 m³.

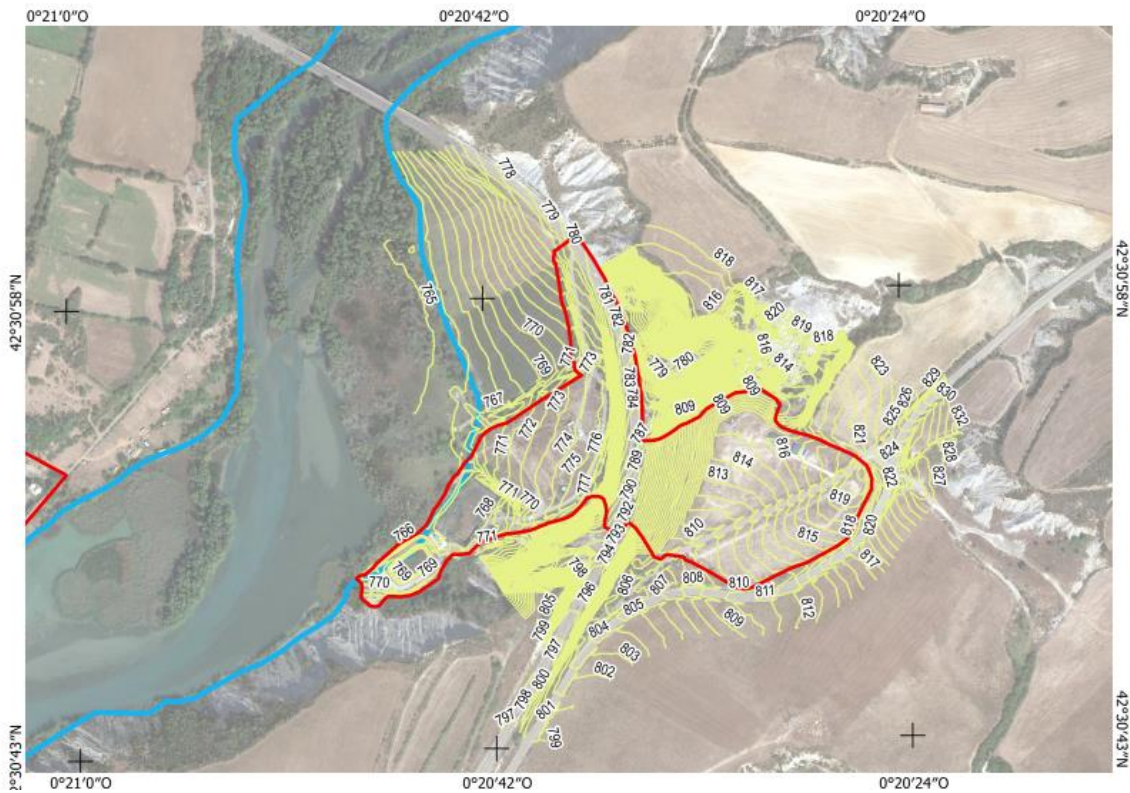


Figura 6. Curvas de nivel del área del vertedero de Sardas. Estado actual

2.3.2 Delimitación del cauce y el Dominio Público Hidráulico

El Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables (SNCZI) (MITECO, 2021) dispone de cartografía para la identificación de cauces, la zona de Dominio Público Hidráulico (DPH) y de policía. El cauce se delimita por la crecida ordinaria, mientras que la zona de policía, en la que se condicionan los usos de suelo para evitar la degradación de las masas de agua, se delimita por los 100 m de anchura medidos horizontalmente desde el cauce (Art. 6, Real Decreto Legislativo 1/2001, de 20 de julio, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Aguas). La Figura 7 muestra la delimitación del DPH y la zona de policía del SNCZI desde la presa hasta la confluencia del río Aurín en el río Gállego. Se superponen la ubicación de la fábrica de INQUINOSA y del vertedero de Sardas para corroborar la ubicación en la zona de policía actual de estas instalaciones.

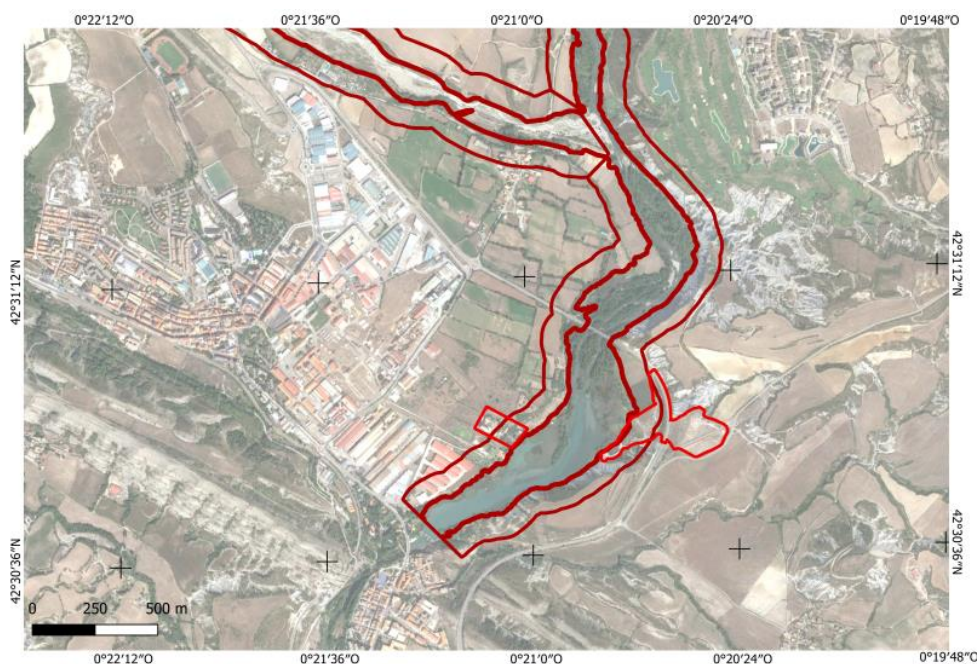


Figura 7. Delimitación del DPH en el área del embalse de Sabiñánigo

2.3.3 Infraestructuras del vertedero de Sardas

Las Figura 8 muestra el conjunto de instalaciones internas del vertedero de Sardas, digitalizadas y cedidas por EMGRISA. Constan del límite de las instalaciones del propio vertedero, de las parcelas ubicadas al pie del mismo, de la ubicación de las piscinas de lixiviados, de las depuradoras y puntos de drenaje superficial, así como de los viales internos y externos. También se muestra el trazado de la línea eléctrica y la ubicación de las luminarias en la carretera.

Esta información no está actualizada con los nuevos elementos de control y desvío de drenajes y efluentes contaminados construidos recientemente en las parcelas situadas al pie del vertedero; como los depósitos de residuos, ni tampoco integra información sobre servicios e infraestructuras externos como el paso de tuberías de abastecimiento y de residuales de las poblaciones y urbanizaciones de los alrededores del vertedero.

Merece especial atención examinar, por un lado, el cuerpo de vertedero concibiéndolo como una estructura global de tierras por cuyo pie de talud discurre, a media ladera, una carretera. Como cualquier talud de carreteras, es susceptible de desestabilizarse en condiciones desfavorables. Por otro lado, ha de prestarse atención al comportamiento de los muretes perimetrales enterrados y, especialmente, a la propia pantalla impermeable de bentonita-cemento. Se trata, pues, de elementos o cuerpos geotécnico-estructurales cuyos estados merecen algunas observaciones, que se verán en el Apartado 3.23.

También merece especial atención conocer el trazado previsto de la Autovía A-23 en el tramo Sabiñánigo Este - Sabiñánigo Oeste que bordea por el E al vertedero de Sardas (Figura 9). Los taludes y drenajes de esta Autovía pueden contribuir a limitar la alimentación de agua superficial al vertedero desde las cárcavas que intersecta y de agua subterránea desde las margas que constituyen el sustrato de baja permeabilidad del vertedero.

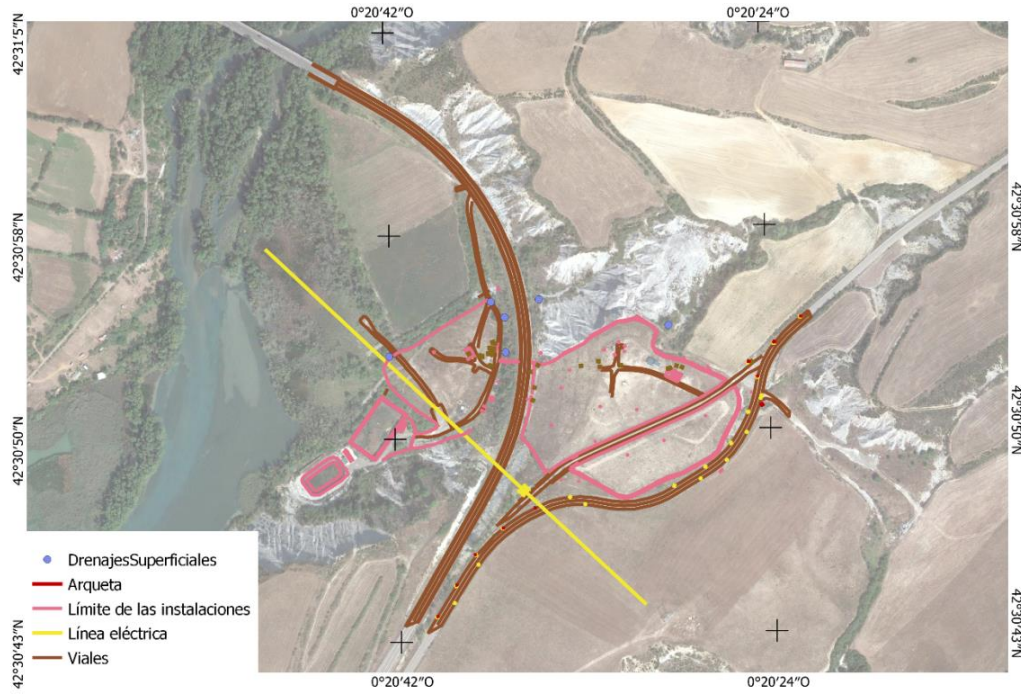


Figura 8. Instalaciones en el vertedero de Sardas

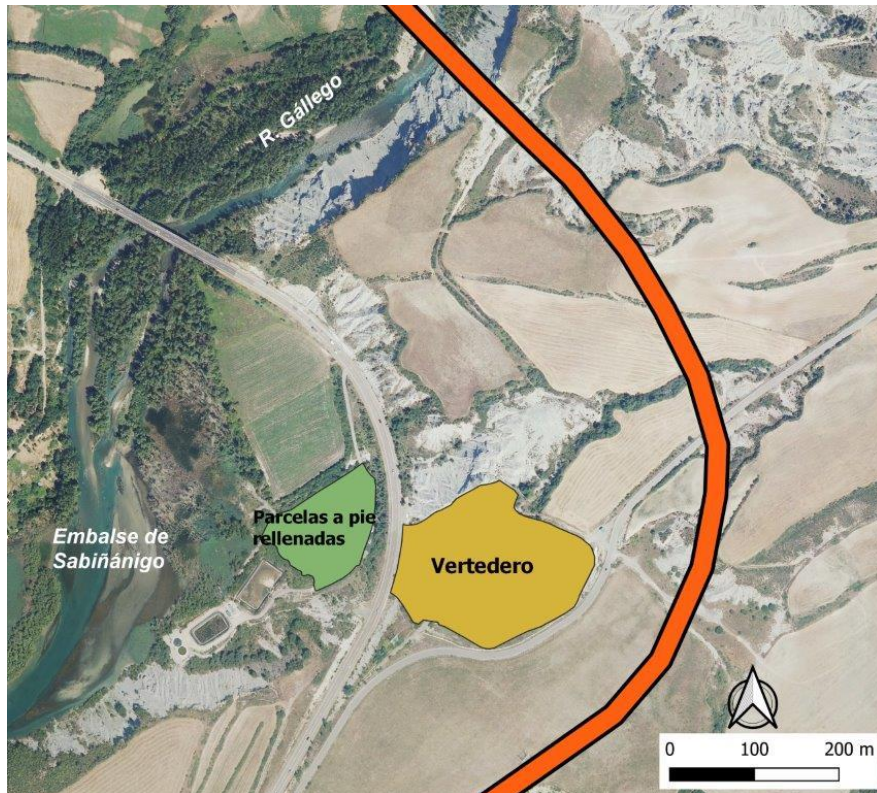


Figura 9. Trazado en ejecución de la Autovía A-23 en el tramo Sabiñánigo Este - Sabiñánigo Oeste próxima al vertedero de Sardas

2.4 Reconocimientos Geofísicos previos

Se dispone de documentación relativa a diferentes campañas de prospección geofísica, realizadas tanto en el recinto del propio vertedero como en algunas parcelas próximas que pueden estar afectadas por lixiviados procedentes del vertedero de Sardas, consistente en tres informes y un documento elaborados entre 2010 y 2019. A continuación se resumen los principales resultados obtenidos en cada uno.

Entre los años 2010 y 2013 la empresa Geofísica Consultores, S.L., a petición de EMGRISA, publicó dos informes de estudios geofísicos:

- Uno primero (Geofísica Consultores, 2010) en el que se recogen los resultados obtenidos en el reconocimiento geofísico de las formaciones aluviales de fondo de valle mediante seis líneas de tomografía eléctrica y cinco líneas de tomografía sísmica (Figura 10). Los objetivos fijados en este trabajo eran: i) caracterizar la zona contaminada mediante el método de tomografía eléctrica, y ii) estimar la profundidad del sustrato rocoso mediante el método de la tomografía sísmica de refracción. Con ambas técnicas se localizaron zonas de alta humedad y finos que podían estar asociadas a zonas contaminadas, y se localizó la profundidad del sustrato rocoso, cumpliendo así los objetivos del estudio.

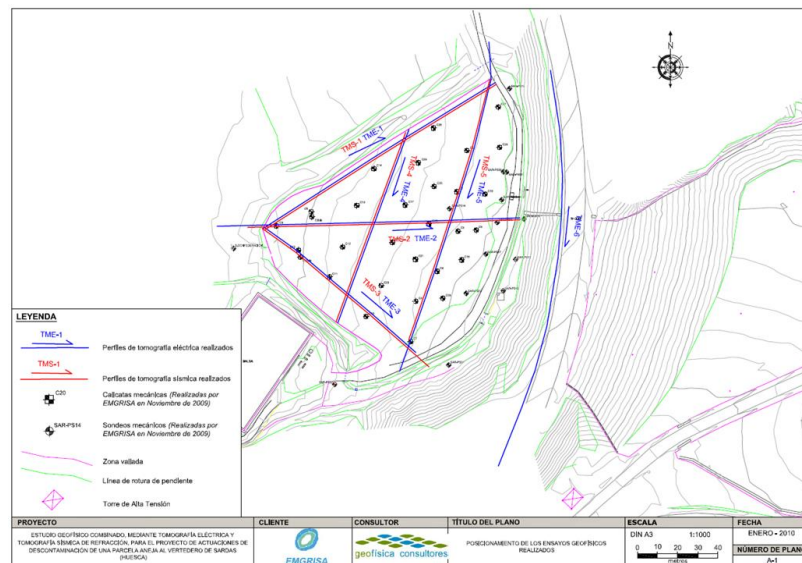


Figura 10. Líneas de tomografía eléctrica y sísmica realizadas en las parcelas al pie del vertedero de Sardas (Geocisa Consultores, 2010)

- El segundo (Geofísica Consultores, 2013), recoge los resultados obtenidos en el reconocimiento geofísico de la mitad norte del vertedero a partir de cuatro líneas de tomografía eléctrica (Figura 11). El objetivo del estudio era caracterizar el terreno mediante el método de tomografía eléctrica, detectando posibles zonas de alta conductividad. En todos los perfiles de tomografía eléctrica estudiados se identificaron posibles anomalías conductoras por presencia de valores de resistividad eléctrica bajos, que fueron interpretadas como posibles zonas preferentes de flujos subterráneos.

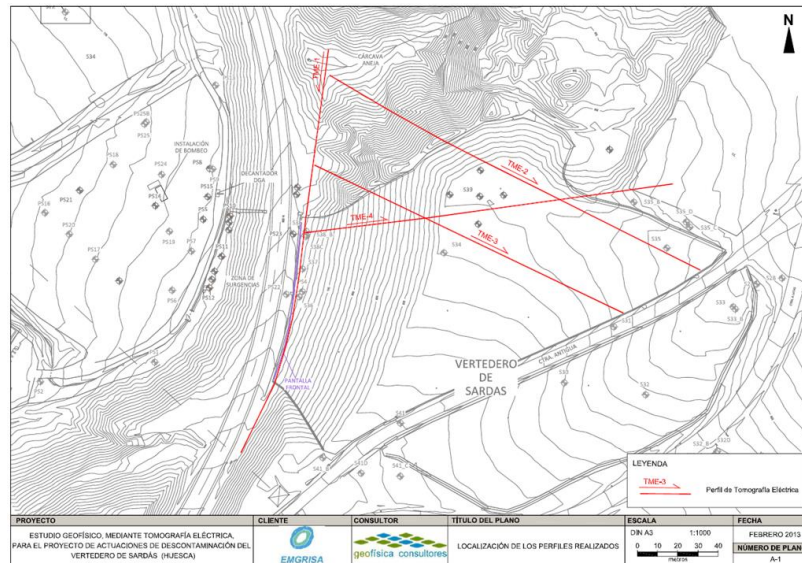


Figura 11. Líneas de tomografía eléctrica realizadas en 2013 en el vertedero de Sardas (Geocisa Consultores, 2010)

Por otra parte, en el año 2018 el grupo de investigación MENODES (de la UPM) remitió a EMGRISA un informe en el que se recopilan y analizan los resultados procedentes del estudio de las parcelas al pie del vertedero de Sardas mediante varias técnicas de prospección geofísica, tales como la tomografía eléctrica, perfiles de polarización inducida, sondeos electromagnéticos en el dominio de tiempo, sondeos eléctricos verticales, sondeos de polarización inducida y registros de potencial espontáneo. En la Tabla 2 y la Figura 12 se recogen las distintas campañas realizadas entre 2016 y 2018

El objetivo planteado en este estudio fue triple:

- Realizar una caracterización espacial de la distribución de los distintos niveles geo-eléctricos y relacionarlos con las diferentes litologías presentes en la zona de estudio, así como determinar direcciones preferenciales de flujo. Para ello se realizaron las campañas iniciales de tomografía eléctrica y sondeos electromagnéticos.
- Investigar las direcciones preferentes de flujo mediante la realización de registros de polarización inducida.
- Analizar la evolución dinámica de la pluma y los efectos de las acciones de remediación y su evolución temporal. Para este trabajo de monitorización se realizaron registros de potencial espontáneo y un perfil de tomografía geo-eléctrica antes y durante los procesos de inyección y extracción.

De dicho trabajo se obtuvieron las principales conclusiones:

- Los métodos utilizados permitieron abordar los objetivos previstos total o parcialmente, a excepción del método de polarización inducida.
- La tomografía eléctrica proporcionó una buena distribución espacial del penacho de contaminación. Las medidas electromagnéticas quedaron pendientes de un análisis tomográfico para comprobar si son capaces de definir mejor las zonas de fracturación.

- Las técnicas de tomografía y polarización inducida no permiten detectar bien los contaminantes.
- La técnica de potencial espontáneo ofreció una estimación con precisión limitada del flujo de agua con distinta conductividad de la del medio, pero no da en algunos casos los resultados esperados.

Tabla 2. Reconocimientos geofísicos realizados en las parcelas al pie del vertedero de Sardas entre 2016 y 2018 (MENODES, 2018)

Año	Mes	Técnicas Geofísicas	Mediciones
2016	Septiembre	Tomografía eléctrica	Perfiles 1 a 7
2017	Marzo	Sondeos electromagnéticos en dominio de tiempo	21 sondeos repartidos en tres perfiles
	Septiembre	Perfiles de polarización inducida	NA
2018	Mayo	Tomografía eléctrica Sondeos eléctricos y de polarización inducida	Perfil 8 SEV-PI 1 a 3
	Junio	Potencial espontáneo	Perfil circular en 8 puntos de medida
	Julio	Tomografía eléctrica Potencial espontáneo	Perfil 8 Perfil circular en 12 puntos de medida

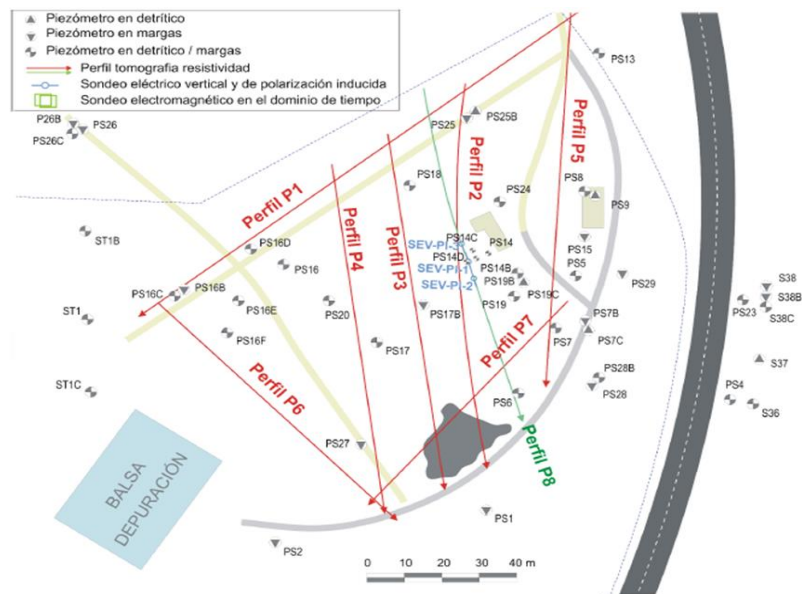


Figura 12. Perfiles y sondeos geofísicos realizados en las parcelas al pie del vertedero entre 2016 y 2018 (MENODES, 2018)

También se dispone de un documento no firmado con trabajos de campo de 2019, también perteneciente al grupo MENODES en el que se presentan los resultados obtenidos en otro reconocimiento adicional de las parcelas al pie del vertedero de Sardas, esta vez de mayor extensión que el anterior, mediante cinco líneas de tomografía eléctrica (Figura 13). Aunque en ese estudio no se establecieron objetivos concretos, sí se llevó a cabo una descripción de las secciones de resistividad obtenidas en dichos perfiles, definiendo diferentes niveles en función de rangos de resistividad que se asocian a las diferentes litologías presentes en la zona de estudio.



Figura 13. Líneas de tomografía eléctrica realizadas en las parcelas al pie del vertedero en 2019 por el grupo MENODES

A la vista de toda esta información se puede concluir que los objetivos de los estudios geofísicos realizados entre 2010 y 2019 eran diferentes, empleando en cada caso las técnicas geofísicas más adecuadas para su cumplimiento, con la realización común de diferentes ensayos de tomografía eléctrica con objeto de obtener perfiles de resistividad del terreno que permitieran localizar zonas asociadas a posibles acumulaciones y flujos de lixiviados.

De las técnicas geofísicas empleadas en los trabajos antedichos se extraen las siguientes conclusiones:

- Tomografía eléctrica: Sin duda, se trata del método más usado, en todos los trabajos se realizó, al menos, una campaña de ensayos de tomografía eléctrica. Esta técnica en unas ocasiones se usó para obtener perfiles de resistividad del terreno y en otras ocasiones para controlar la evolución temporal de los perfiles en diferentes etapas de los tratamientos de descontaminación. En general, este método aportó resultados muy satisfactorios que cumplían con los objetivos marcados al inicio de cada trabajo.
- Tomografía sísmica: Se realizó una campaña de medidas sísmicas, combinada con ensayos de tomografía eléctrica, para localizar el substrato rocoso. Esta técnica resultó muy útil para este propósito.
- Sondeos electromagnéticos en el dominio del tiempo: Proporciona una tendencia de las resistividades del terreno con la profundidad, pero la resolución del método es inferior a la proporcionada con ensayos de tomografía eléctrica. Quedan pendientes de un análisis tomográfico para comprobar si son capaces de definir mejor las zonas de fracturación
- Perfiles de polarización inducida: Se hicieron perfiles de polarización inducida coincidentes con perfiles de tomografía eléctrica para detectar vías preferentes del flujo. Con este método no pudieron registrarse datos válidos para su interpretación debido a que el ruido natural de la zona superaba la señal de medida.
- Sondeos eléctricos verticales y de polarización inducida: Estas técnicas se aplicaron en el entorno de sondeos mecánicos perforados en el vertedero para aplicar los tratamientos de descontaminación. Son técnicas puntuales para analizar la evolución dinámica de la pluma y los



efectos de las acciones de remediación y su evolución temporal. Los resultados obtenidos cumplieron con el objetivo marcado.

- Potencial espontáneo: No fue útil para cumplir con el objetivo de estimar flujos de agua de distinta conductividad respecto al medio.

2.5 Modelo geológico

La información geológica de detalle con la que se ha trabajado en este encargo corresponde a la aportada en el trabajo “Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos”, elaborado por Geotecnia y Cimientos S.A. (GEOCISA) para la CHE en 2010; en los estudios: “Proyecto de remediación del subsuelo de las parcelas al pie del vertedero de Sardas, Sabiñánigo (Huesca)” de EMGRISA para el Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino (MMARM) en 2010 y “Proyecto de actuaciones para el control de la contaminación en el vertedero de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) de SODEMASA para el GA en 2012; y en las Memorias del “Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca)” de EMGRISA para el GA de 2010 a 2013 y del “Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca)” de EMGRISA para el GA de 2013 a 2020.

Este estudio se ha completado con la memoria del Mapa Geológico de España (MAGNA), Escala 1:50.000 Hoja 177 de Sabiñánigo (IGME, 2012), una búsqueda adicional de referencias bibliográficas sobre la estructura geológica del ciclo alpino y la estratigrafía del cuaternario en esta zona de Pirineos y con los reconocimientos de campo realizados durante este trabajo.

En el Anejo V se incluye una descripción del marco geológico regional y en el Anejo VI de los datos de detalle de los sondeos realizados en la zona de estudio. En el Anejo VII se ha avanzado un tratamiento preliminar de la geometría en 3D de las principales formaciones geológicas que puede ayudar a su posterior análisis y presentación visual.

El estudio de la información geológica y los reconocimientos de campo realizados durante este encargo se han centrado en las propiedades de las formaciones geológicas que forman parte del modelo conceptual que puede explicar la llegada al embalse de isómeros del HCH y de los contactos entre ellas. Estas son las margas de Larrés del Eoceno Medio y las terrazas fluvio-glaciares y los depósitos postglaciares del Cuaternario de la cuenca, incluidos los aluviales más recientes.

A continuación se extraen los principales resultados del análisis realizado sobre los aspectos estructurales y estratigráficos más significativos de las formaciones que constituyen el modelo geológico del sistema hidrológico de interés para el objeto de este trabajo, ordenadas de muro a techo.

2.5.1 Margas de Larrés (Eoceno superior)

Importa especialmente la descripción que pueda hacerse de las características geológicas de estas margas para aclarar el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico del emplazamiento, que es contradictorio en las memorias del seguimiento hidrogeológico de Sardas. En las memorias de principios de la década de 2010 se indica que “existe una línea preferente de flujo este oeste, tanto en niveles superficiales, como en niveles más profundos en la formación margosa”, mientras que en las memorias más recientes se concluye que “el flujo subterráneo a través de las margas subyacentes es insignificante [...] además de ser una barrera hidrogeológica para el agua, las margas constituyen una trampa para la fase

líquida densa”, al tiempo que se admite que “el sustrato geológico de las margas de Larrés es muy poco permeable y permite muy poco flujo subterráneo excepto en la capa superficial de las margas que están más Fracturadas, Alteradas y Descomprimidas (FAD)”.

El análisis de la información recopilada permite plantear que debido a la situación del emplazamiento del vertedero en el Anticlinal de Yebra de Basa, uno los fuertes plegamientos generados en la etapa orogénica alpina (Figura 14), la Formación de Margas de Larrés, del Eoceno superior (Unidad 16 en el Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1:50.000, en la Figura 15) estaría afectada por estos esfuerzos tectónicos y presentaría las familias de juntas características de estos pliegues.

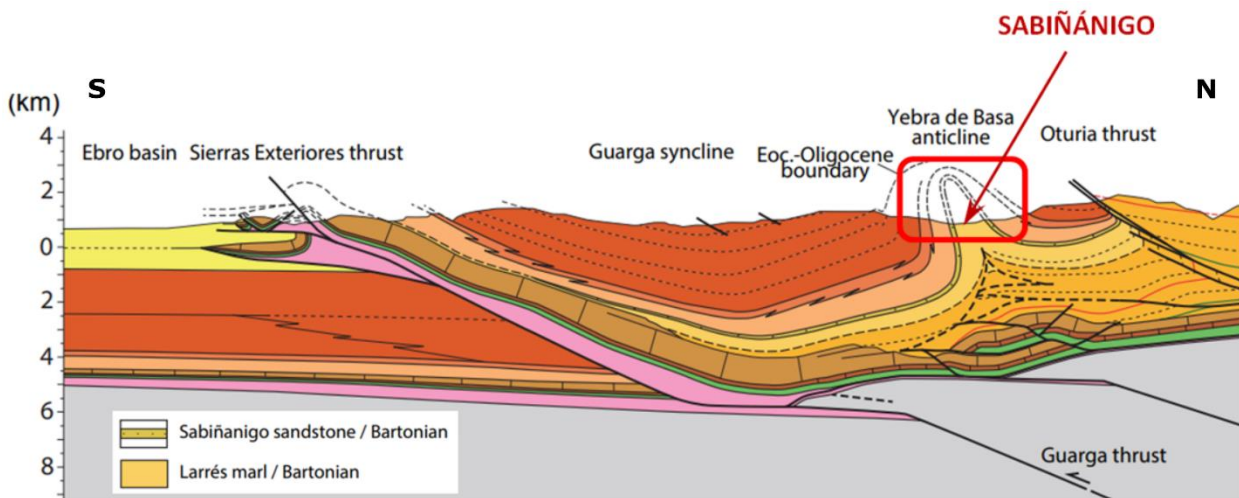


Figura 14. Corte estructural a través de los Pirineos por el área de estudio (modificado de Labaume y Teixell, 2018).

La documentación estudiada carece de suficientes datos estructurales para conocer la distribución espacial de estas fracturas, pero se han descrito margas fracturadas e incluso de cizalladura en los sondeos realizados en el área de estudio, con notable consistencia con lo antedicho sobre el reacomodo de las capas durante el proceso de plegamiento. Así, en los sondeos 30, 32, 32B, 32C, 33, 35, 35B, 41, 41B y 41C, realizados en la parte alta del vertedero por IDOM en el año 2010, se describen varias familias de juntas y se registra la presencia del nivel piezométrico en estas margas. Se han revisado también las fotografías de los testigos de algunos sondeos en los que se pueden apreciar estas juntas. Por último, la detección de fase libre (DNAPL) tanto en los sondeos del grupo PS-14 como en los sondeos PS-15, PS-29 y PS-25 (en este último se halló a una profundidad de 37,5 m) ha sido interpretada en el modelo conceptual del emplazamiento como reveladora de la existencia de una vía de migración preferencial de la fase libre en el sustrato del vertedero. Debe apuntarse que, aunque para las margas sanas se han determinado unos valores de permeabilidad muy bajos, del orden de 10^{-6} m/d, este valor aumenta varios órdenes de magnitud, hasta 0,04 m/d en el caso de las margas fracturadas o alteradas.

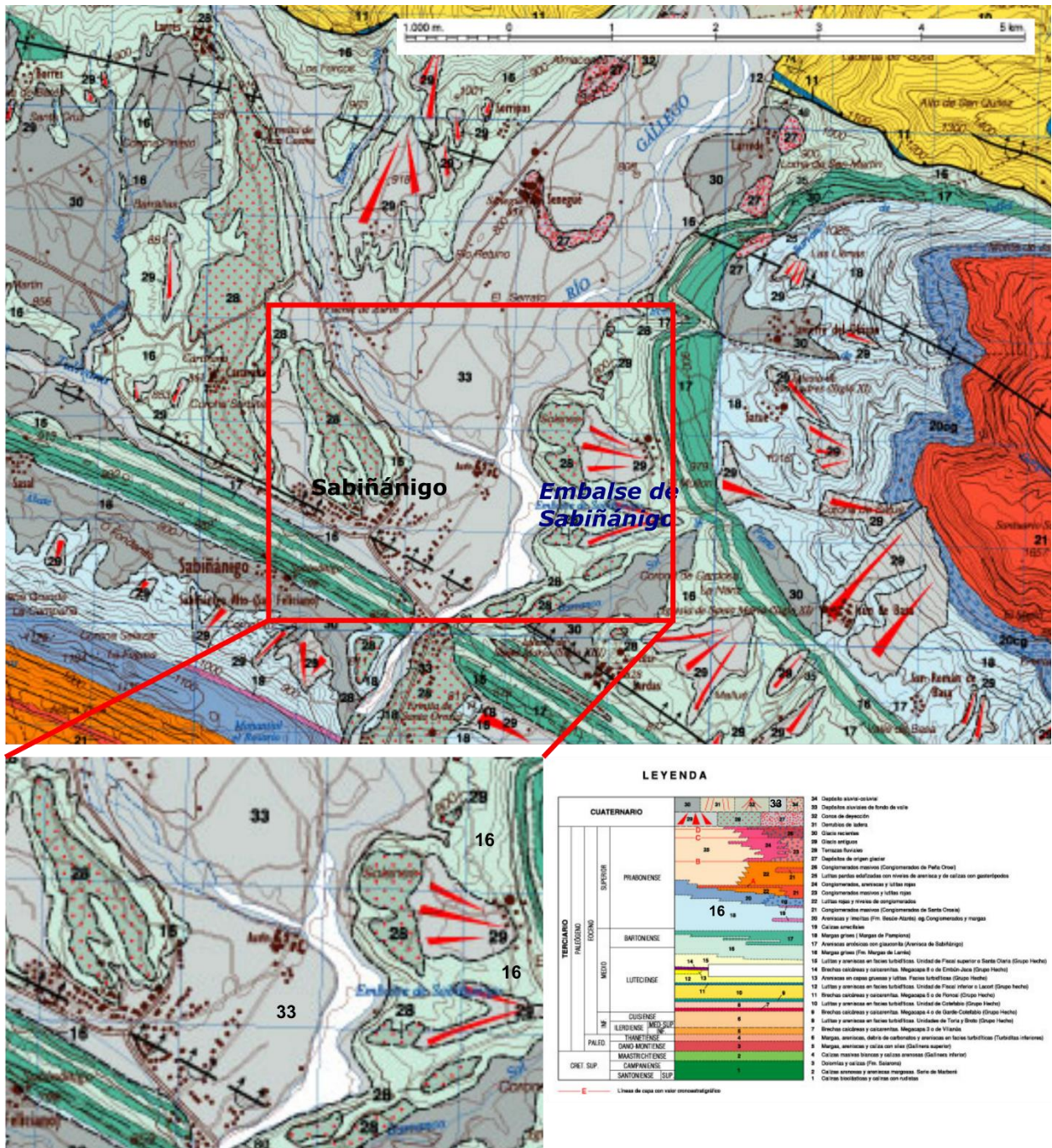


Figura 15. Área de estudio. Mapa Geológico Nacional (MAGNA) a escala 1.50:000. Hoja 177

Con objeto de poder reconocer *de visu* la serie de afloramientos frescos de estas margas que permitan los taludes de las obras de construcción de la Autovía A-23 en el tramo Sabiñánigo Este - Sabiñánigo Oeste (Figura 9), el CEDEX programó una visita de campo con el apoyo de la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón del Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. Como resultado de dicha visita se pudo observar la existencia de una intensa fracturación en el macizo rocoso de las margas de Larrés en todos los afloramientos de los taludes más próximos al borde NE del vertedero de Sardas, y la concentración

de flujos de agua en varias de las juntas que se mostraban abiertas, especialmente en aquellas de trazado subhorizontal. Estos flujos se observaron en la roca fresca a varias profundidades tanto en estos taludes generados por la obra como en los originados por la erosión del río Gállego al N del vertedero en la misma formación que constituye el sustrato del vertedero (Figura 16). Por otro lado, las margas presentan franjas de alteración con humedad elevada con espesores que oscilan entre unos decímetros y algunos metros en superficie y en los fondos de cauces y paleocauces atravesados por los taludes.

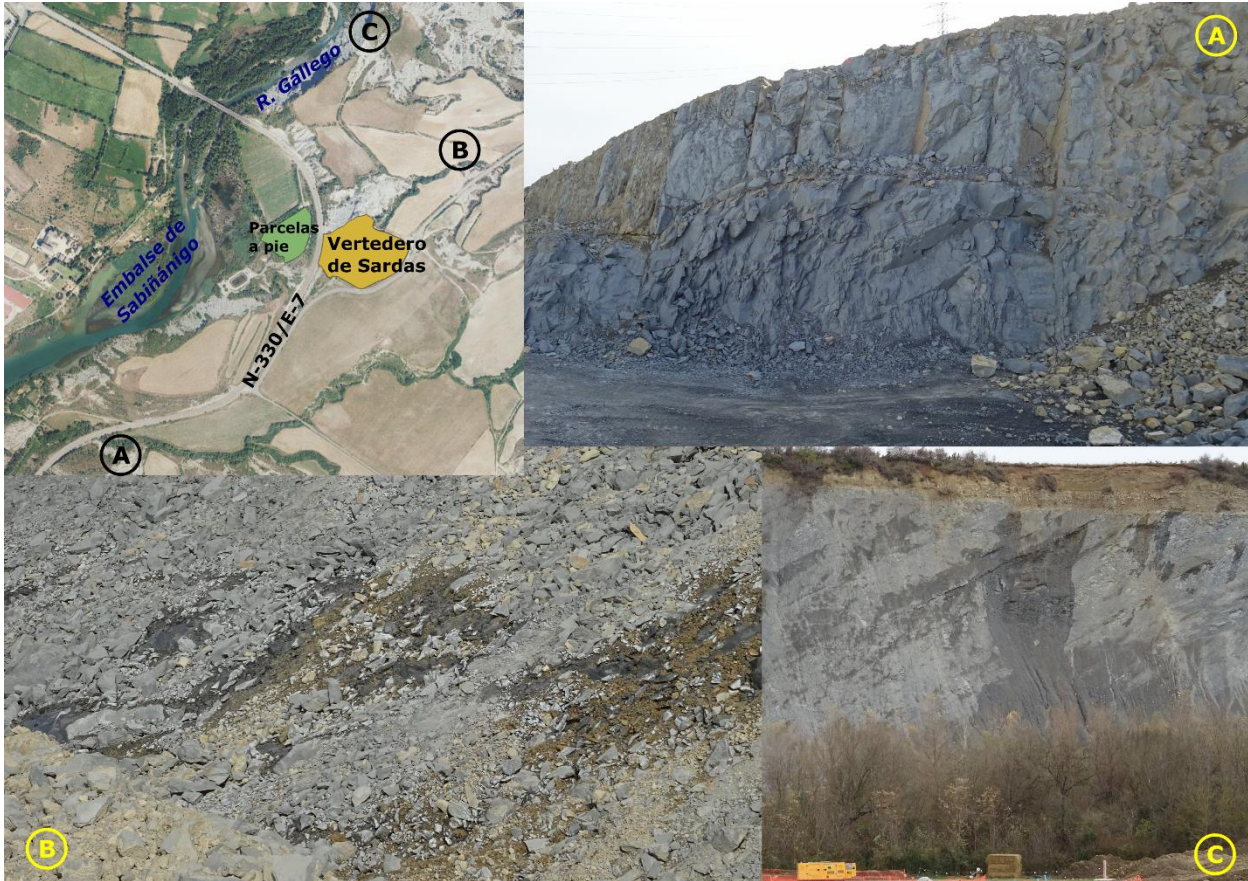


Figura 16 Fotografías de las discontinuidades y los flujos de agua observados en las margas de Larrés a varias profundidades en los taludes de construcción de la autovía A-23 al N del vertedero y en los taludes de erosión del río Gállego (noviembre de 2021)

Durante esta visita no se pudo reconocer la zona más próxima al arroyo que desagua en la cárcava del vertedero en su tramo más alto, por no haberse realizado aún las voladuras del trazado de la carretera en este punto. El CEDEX ha previsto una nueva visita de campo en marzo de 2022, cuando se haya finalizado la apertura de taludes en esta zona.

En conclusión, como resultado del análisis realizado se deduce que la presencia de un sustrato margoso de baja permeabilidad de un espesor de varios centenares de metros limita el avance de los contaminantes a mayor profundidad bajo el vertedero de Sardas. La inexistencia de masas de agua subterránea de gran envergadura subyacentes descarta uno de los principales problemas que originan los compuestos DNAPL en el caso de Sardas, que es la contaminación de grandes volúmenes de masas de agua subterránea por



su migración vertical descendente en el suelo y en el medio saturado. Esta situación ofrece, además, posibilidades de simplificación tanto en cuanto a la caracterización del medio como en cuanto a su gestión por lo limitado del volumen de medio geológico a estudiar, su estructura sencilla y su ubicación a escasa profundidad. Sin embargo, estas margas pueden admitir un flujo de agua subterránea, concentrado en fracturas abiertas, o difuso en las zonas alteradas, que alimente el vertedero de forma persistente a partir de la infiltración de la precipitación caída sobre las superficies de los glacis que constituyen la cabecera de las cárcavas sobre las que se ubica el vertedero. Las fracturas abiertas pueden favorecer también los procesos de migración del DNAPL y de la pluma de contaminación hacia el acuífero aluvial.

2.5.2 Formaciones fluvioglaciares del Cuaternario

Sobre los materiales eocenos se disponen de forma discordante los sedimentos cuaternarios del río Gállego, que corta de norte a sur el Anticlinal de Yebra de Basa. Dichos sedimentos, que no se encuentran afectados por la fracturación asociada a las etapas de plegamiento, corresponden a terrazas fluvioglaciares y a depósitos postglaciares (Barrere, 1966, Peña et al., 2004). En la cartografía del MAGNA (IGME, 2012) la formación que interesa al objeto de este encargo es la denominada Depósitos de Fondo de Valle (Unidad 33 en la Figura 15). Estos depósitos incluyen los materiales correspondientes a las terrazas más bajas topográficamente y a la llanura de inundación del cauce actual.

Los depósitos de terrazas están compuestos por arenas y gravas, con niveles de limos arcillosos con pasadas de arena fina a techo. Estas terrazas pueden ser relativamente antiguas en el curso del río Gállego y ser el resultado de la deglaciación post-máximo glacial del Pleistoceno Superior. Así es cartografiada por Barrere (1966) la terraza de menor cota topográfica que forma la margen izquierda del embalse en la base del vertedero, si bien Peña et al. (2004) la hacen corresponder con las terrazas más recientes Qt9 y Qt10 del río Gállego. En esta margen izquierda, las terrazas estarían encajadas dado que el río no ha eliminado por completo los depósitos aluviales anteriores. Esta terraza presenta una potencia entre 3 y 15 m, encontrándose los mayores espesores hacia el embalse. Las arenas y gravas forman un acuífero bajo el cauce actual del río Gállego, que queda semiconfinado por los niveles arcillosos situados a techo. Este confinamiento puede verse reducido en las zonas de posible acuñamiento de estos limos o de mayor presencia de lentejones de arenas en forma de canales anastomosados y divagantes.

Sobre estos limos y arenas de las terrazas se apoyan los sedimentos actuales, menos consolidados, del fondo del cauce actual del río Gállego en el embalse de Sabiñánigo, que están constituidos también principalmente por limos y arenas.

En la margen derecha del embalse el río corta el sustrato margoso en casi toda su extensión, y forma terrazas escalonadas. La de mayor extensión, sobre la que se ubica el polígono industrial de Sabiñánigo y la fábrica de INQUINOSA, corresponde a una terraza fluvioglacial del nivel Qt7 Peña et al. (2004) y se extiende aguas arriba por la cuenca del río Aurín.

En la visita realizada por los técnicos del CEDEX por invitación de la Demarcación de Carreteras pudieron reconocerse algunos cortes de la terraza más baja y el aluvial del río Gállego en la zona de cola del embalse de Sabiñánigo aprovechando las excavaciones realizadas para la instalación de los apoyos del viaducto de la autovía. Este reconocimiento, junto con los datos aportados por los técnicos de la Demarcación de Carreteras permite confirmar la presencia a muro de una formación de unos 2 m de espesor de gravas y gravillas arenosas con tamaños seleccionados, que se apoyan sobre las margas del sustrato (Figura 17).

En esta zona, a cola del embalse, puede ser mayor la conexión de las aguas del río con las aguas del acuífero por faltar o ser de poca potencia la capa de limos semiconfinantes situados a techo.



Figura 17. Materiales cortados en las excavaciones realizadas para las pilas del viaducto de la autovía A-23. (Fotografía cedida por la Demarcación de Carreteras del Estado en Aragón).

La descripción geológica de estas formaciones cuaternarias no puede hacerse en detalle, dada la ausencia de secciones que dificulta la definición de su estructura en la zona de estudio, en la que deben superponerse terrazas y depósitos aluviales de diferente edad, incluido el más reciente de colmatación del embalse de Sabiñánigo. La caracterización realizada por GEOCISA (2010) para la CHE en los limos de colmatación del embalse y la terraza inferior sobre la que se apoyan permite hacer una descripción general de la composición, geometría y comportamiento hidrogeológico de estas formaciones. Sin embargo, esta descripción puede no estar captando detalles sedimentarios, estructurales y texturales que sean claves para entender la conexión que se establece a través de ellos entre aguas superficiales y subterráneas. La geometría del sistema de flujo en estos materiales es compleja y difícil de caracterizar en detalle por las heterogeneidades existentes a diferentes escalas y los cambios que se producen en la orientación y sentido

del flujo en función de la dinámica de oscilaciones del nivel del agua en el embalse y del nivel piezométrico en los flancos del río y del acuífero. Este hecho es relevante porque la contaminación multicomponente extendida en este acuífero constituye un foco de potencial contaminación de las aguas del embalse.

La caracterización en mayor detalle de estas formaciones cuaternarias es inviable sin alterar en un grado elevado el medio y aumentar el riesgo de movilización de contaminantes. No obstante, y como se verá en el capítulo 6, dado que el objetivo final es definir el modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico, se considera apropiada la aplicación en superficie y a escasa profundidad de técnicas no agresivas para la medida de parámetros hidráulicos, niveles piezométricos y concentración de contaminantes en aguas intersticiales y gases en suelos, que complementen los modelos numéricos de flujo y transporte de trabajos previos.

2.6 Modelo conceptual hidrogeológico del emplazamiento de vertedero de Sardas

Se describe en este apartado el modelo conceptual hidrogeológico del emplazamiento de vertedero de Sardas asumido en los trabajos consultados y también los detalles más relevantes que se han encontrado sobre la caracterización hidrogeológica y modelación numérica que apoyan este modelo y cuantifican algunos de sus componentes.

Este modelo define el flujo de aguas subterráneas y transporte de contaminantes de la margen izquierda del embalse de Sabiñánigo, donde se ubica el vertedero de Sardas. En este emplazamiento se produce una situación singular al haberse generado un gradiente hidráulico local alto, por la construcción de una pantalla frontal que eleva el nivel freático dentro del vertedero, en el cuerpo de los residuos. Este nivel, medido en los sondeos perforados en el trasdós de la pantalla de bentonita-cemento, sita junto a la N-330, se encuentra a unos 2 m de profundidad (medida desde boca de sondeo), lo que indica que:

- la pantalla frontal está actuando como dique de contención de las aguas de infiltración que circulan por el vertedero,
- los materiales contaminantes se encuentran sumergidos,
- se promueve la disolución de contaminantes en el agua de infiltración,
- estas aguas penetran en el acuífero por su base (Figura 18).

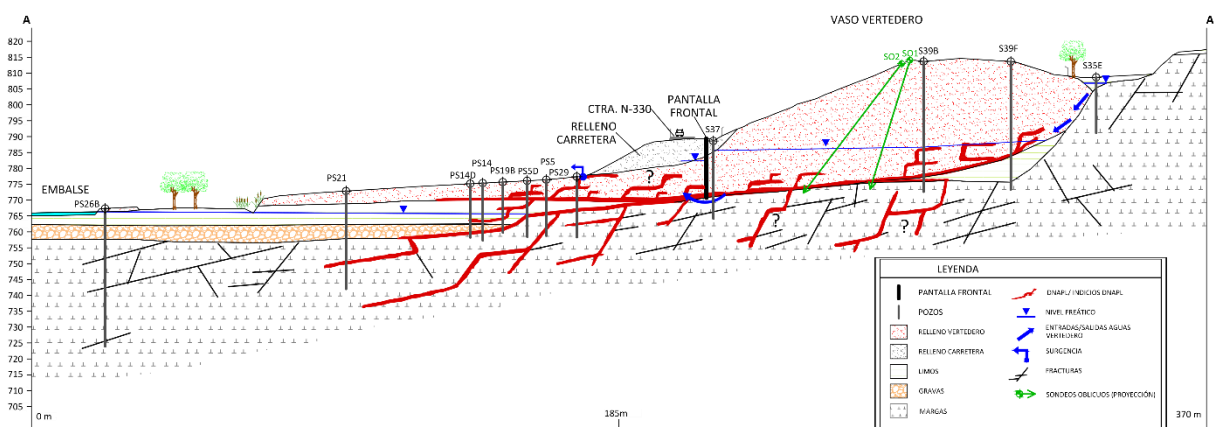


Figura 18. Modelo conceptual hidrogeológico del emplazamiento de vertedero de Sardas (Modificado de EMGRISA 2021)



El embalse de Sabiñánigo está ubicado sobre las formaciones geológicas descritas en el apartado anterior y que constituyen su lecho y sus orillas. La conexión entre las aguas subterráneas y las aguas superficiales del embalse está definida por el esquema de flujo regional en el que el río Gállego es la zona de descarga de los pequeños acuíferos de las formaciones de gravas y arenas fluvio-glaciares de su entorno. El comportamiento hidrogeológico de las formaciones que constituyen el acuífero y su sustrato es determinante para el transporte de los contaminantes desde el vertedero de Sardas a las aguas del embalse de Sabiñánigo, una de las hipótesis más plausibles para explicar la contaminación del agua del río Gállego en el embalse, bien sea de forma directa o bien indirecta por la dispersión de residuos observada en el entorno del vertedero. En resumen:

- Las margas de Larrés constituyen el sustrato de baja permeabilidad del vertedero de Sardas y del acuífero aluvial, y pueden limitar o facilitar la entrada y salida de agua en el vertedero y la conexión o desconexión de estas aguas contaminadas en el vertedero con el acuífero, en función de su mayor o menor alteración superficial o permeabilidad por fracturación. Según el modelo asumido por EMGRISA (Figura 18), estas margas permiten el paso de contaminantes al acuífero en la base del vertedero, pero no tienen un papel relevante en el aporte de agua al vertedero.
- Las terrazas fluvio-glaciares y los depósitos postglaciares pueden jugar un papel múltiple en el modelo conceptual de contaminación de las aguas del embalse. En primer lugar, según el modelo de la Figura 18, los sedimentos detríticos de fondo (gravas) de este conjunto forman el acuífero, que constituye la principal vía de dispersión de la contaminación en las aguas subterráneas aguas abajo del vertedero. En segundo lugar, según los resultados de los trabajos de modelación realizados en estudios previos, los limos a techo de las terrazas parecen actuar como un nivel semiconfinante del acuífero que amortigua el flujo del agua y el transporte de contaminantes del acuífero hacia el río por flujo lateral y vertical ascendente. Sobre estos limos se han depositado en el cauce los limos de colmatación del embalse que también contribuyen a este confinamiento. Además, en la parcela al pie del vertedero se han dispuesto los materiales de relleno (Figura 18) producidos durante la construcción de la carretera N-330/E-9. El contacto entre estos materiales de relleno y los limos del techo de la terraza da lugar a otra vía de migración de la contaminación que es lavada a partir de ellos rellenos por la precipitación.

El semiconfinamiento del acuífero por los limos a techo de la terraza aumenta el tiempo de tránsito de los contaminantes y favorece la efectividad de los procesos de biodegradación. No obstante, esta hipótesis, válida probablemente en la mayor parte de la extensión de esta formación, no puede precisar el comportamiento de las heterogeneidades debidas a lentejones y tramos más arenosos que pueden formar parte de estos depósitos y constituir vías de conexión preferente entre el acuífero y las aguas superficiales.

Por último, tanto estos limos y arenas de techo de la terraza como los materiales de relleno y los limos de colmatación del embalse han sido descritos como contaminados por isómeros de HCH en los estudios previos. Estos materiales entran en contacto directo con el agua del río Gállego en el embalse, de forma que podrían aportar contaminantes a sus aguas al estar ellos mismos afectados. En las zonas emergidas de los depósitos de terraza se vertieron residuos del vertedero durante la construcción de la carretera N-330/E-7 que no han sido aún eliminados y que pueden ser lixiviados hacia el río. En los trabajos previos se describen concentraciones de contaminantes volátiles en



parte de los sondeos que los atraviesan a diferentes profundidades, tanto en las series PS y PS14 más próximas al vertedero, como en las series ST1 y PS16 más próximas al embalse, y en los sondeos PS21 a PS23 en zonas intermedias.

El flujo preferente del agua subterránea en el acuífero es en dirección al río Gállego y, en los distintos modelos presentados en las memorias anuales de seguimiento hidrogeológico de EMGRISA se consideran: i) un flujo transversal al río Gállego, hacia el trazado de su antiguo cauce, desde el emplazamiento del vertedero de Sardas que motiva una aureola de dispersión de contaminantes en este sentido; ii) un flujo longitudinal al trazado del río, hacia el norte, que daría lugar a una salida del acuífero al embalse de Sabiñánigo en la cola del embalse; iii) un flujo vertical descendente desde el embalse a las gravas del acuífero en la zona de la presa y posteriormente de salida desde el acuífero hacia el río aguas abajo de la presa a través de las areniscas en las que está cimentada la presa; y iv) un flujo ascendente desde las gravas al embalse a través de los limos de colmatación en el tramo próximo al vertedero de Sardas. El resultado de esta conexión a través de los limos de colmatación es la explicación que se propone en estos modelos para la contaminación de las aguas del embalse de Sabiñánigo por migración vertical ascendente de HCH en disolución desde el acuífero. Se apunta también que esta descarga hacia el embalse se podría producir también por la capa de limos si su conductividad hidráulica vertical fuese mayor o igual que 0.1 m/d.

En el Anejo VIII se describe la información que contiene la base de datos de aguas subterráneas en cuanto a niveles piezométricos, de los que se dispone de 121 series con niveles registrados mayoritariamente dentro de los límites del vertedero de Sardas desde el año hidrológico 2008/09. Se analizan los datos disponibles de niveles piezométricos y se compara su evolución en el vertedero de Sardas y en el acuífero con la precipitación acumulada de Sabiñánigo a inicio del año hidrológico.

En un sistema como el descrito hasta ahora, el modelo conceptual del sistema hidrológico debe postular el intercambio de solutos entre aguas superficiales y subterráneas y entre éstas y el medio geológico en la zona de ribera y en la zona hiporreica, o de transición entre el lecho del río y los sedimentos de su cauce, cuya complejidad es evidente. El modelo requeriría contemplar el transporte reactivo multicomponente y multifase a diferentes escalas para las que no se dispone de la información de detalle necesaria. En el caso del río Gállego en el embalse de Sabiñánigo, la regulación del embalse motiva, además, el cambio diario de parte de los materiales de saturados a no saturados, con las implicaciones que esto tiene para el flujo de agua y el transporte de solutos, especialmente cuando parte de los contaminantes son compuestos orgánicos volátiles y se produce la migración conjunta de estos compuestos y DNAPL en la que los primeros son, además, disolventes de los segundos. Estos flujos son función de las fluctuaciones de los niveles piezométricos reguladas artificialmente por las oscilaciones del orden de 1 m del nivel del agua del embalse, con periodicidad diaria, y las variaciones piezométricas originadas naturalmente por las oscilaciones estacionales de la recarga por precipitación. Esto da lugar a cambios intermitentes del gradiente hidráulico en su valor y en su signo, que hacen que los poros de las formaciones geológicas en contacto más estrecho con el cauce se tiendan a llenar y vaciar de agua cada día a un ritmo que depende de su porosidad y permeabilidad. El reconocimiento de la complejidad de esta condición, que impone una dinámica artificial rápida, de periodicidad diaria y de signo variable, a la dinámica natural, de periodicidad estacional, pero más constante, de descarga de los acuíferos hacia el río y de lavado de las formaciones de ribera, es un punto clave para la adecuada comprensión y gestión del sistema.



Los trabajos de diferentes grupos de investigación y empresas sobre modelación numérica de flujo y transporte en el vertedero y el acuífero, abordados con mayor profundidad y detalle por la Universidad de La Coruña, reconocen y abordan esta complejidad recurriendo a: i) la necesaria simplificación de los procesos debido a la falta de información sobre muchos de los parámetros que sería necesario conocer para proceder a su simulación, y ii) al tratamiento individualizado de parte de los componentes y procesos que afectan al sistema. Sus resultados explican buena parte de las observaciones realizadas sobre evolución de niveles del agua y concentraciones de HCH en el vertedero y en el acuífero aluvial, pero no han aproximado con el mismo detalle, ni de forma integrada, la modelación de las concentraciones de HCH en el río Gállego y en el embalse de Sabiñánigo. De hecho, la incertidumbre que sigue habiendo sobre el modelo conceptual que explica el origen de la contaminación de las aguas del embalse de Sabiñánigo es el motivo del presente encargo.

La hipótesis de que el origen de esta contaminación esté en el acuífero ha dejado aspectos sin explicación hasta el presente, tales como la periodicidad de los episodios de contaminación observados en el embalse y su cuantía. Dicha hipótesis no se ha evaluado en profundidad frente a otras alternativas, y se ha presentado como resultado de modelos numéricos parciales aislados sin hacer una interpretación integrada de resultados. En EMGRISA (2020), la Universidad de La Coruña presenta una batería de resultados de modelos numéricos que incluyen el tratamiento de aspectos tan relevantes como: i) la estimación de la masa anual de HCH que puede llegar al embalse, que varía entre 11 kg para un coeficiente de distribución (K_d) de 3.6 L/kg, 3 kg para $K_d = 10$ L/kg, 60 g para $K_d = 15$ L/kg y 0.12 g para $K_d = 22$ L/kg; o ii) el cálculo del aumento de la solubilidad del lindano en las aguas subterráneas de las gravas debido al aumento de la temperatura del agua que puede ser entre 215 y 1300 $\mu\text{g/L}$ para la variación de temperatura medida en el acuífero entre 0.5 y 3 $^{\circ}\text{C}$.

En el presente encargo se ha intentado estudiar la problemática desde este enfoque integrado, sugiriendo hipótesis alternativas y abordando su evaluación con el mayor detalle posible. También se proponen algunos cambios en relación con la hipótesis asumida hasta la fecha, que afectan a las condiciones de borde en el vertedero (como es el papel de las margas de Larrés que pueden contribuir notablemente a su recarga) o a la conexión hidrodinámica entre las formaciones cuaternarias y el río Gállego no limitadas al acuífero (como es el papel de los limos del techo de la terraza inferior y los sedimentos aluviales sometidos a secuencias diarias de inundación y exposición a la atmósfera en los que será más notable el aumento de la solubilidad del lindano debido al aumento de la temperatura). Estas sugerencias pueden ser confirmadas con los estudios de caracterización adicional que se proponen y pueden motivar modificaciones en la modelación numérica que ayuden a entender mejor el sistema vertedero de Sardas-embalse de Sabiñánigo y apoyen su gestión.

2.7 Volatilización y evaporación del HCH

Estos procesos se han encontrado poco elaborados en los estudios previos. La discusión de los procesos de volatilización y evaporación como vías de migración de HCH y otros contaminantes volátiles no se aborda en profundidad y tampoco se ha encontrado casi información sobre la caracterización de gases en el vertedero de Sardas y en los terrenos y el aire de su entorno.

El estudio más relevante que se ha analizado es el realizado entre los años 2016 y 2018, en el que se ejecutaron diversas campañas para monitorizar la concentración en aire de HCH, pentaCB y hexaCB en cinco puntos de muestreo del entorno del embalse de Sabiñánigo: tres en las zonas urbanas de Sabiñánigo



(2) y Sardas (1), uno en la antigua fábrica de INQUINOSA y otro en el vertedero de Sardas. (Navarro et al., 2019). Los discos de poliuretano empleados como captadores pasivos en cada campaña para recoger las muestras de aire fueron llevados a laboratorio para la extracción y análisis integrado mensual de contaminantes.

En dicho estudio se encontraron contenidos de HCH total en el aire en los puntos de muestreo de las zonas urbanas cuya mediana es de 0,5 a 0,6 ng/m³, 50 veces superior al valor de fondo de 0,016 ng/m³ que reporta la Red Nacional de Vigilancia Ambiental de Contaminantes Orgánicos Persistentes (COP) en España. Los valores medidos en los puntos del vertedero (6 ng/m³) y la fábrica de INQUINOSA (5,5 ng/m³) son 500 veces superiores a dicho fondo, lo que es indicativo de que existe una fuente de contaminación atmosférica en el entorno. La correlación estadística positiva de los isómeros de HCH encontrada en todos los puntos de muestreo sugiere la existencia de una fuente común. Además, el valor de la proporción relativa de los isómeros α -HCH: γ -HCH, 60:40, encontrado en el entorno de este emplazamiento es interpretado por los autores como originado por la fabricación y almacenamiento de residuos de HCH técnico.

La información consultada de la red nacional muestra que los isómeros α -HCH y γ -HCH son los que predominan en general en la atmósfera, debido a su mayor volatilidad frente al resto de isómeros. El "patrón" de isómeros que presenta el "fondo" de HCH en los puntos de esta red nacional para los isómeros α -HCH: γ -HCH es de 40:60, más enriquecido en el isómero γ -HCH que el "patrón local" de la zona de estudio, lo que es coherente con la mayor presencia de este isómero en el HCH comercial.

No obstante, aparte de esta información puntual no se han encontrado nuevos datos de la composición de los gases procedentes de los residuos sólidos (HCH en polvo principalmente) y líquidos (DNAPL y LNAPL) en diferentes puntos del vertedero de Sardas, ni referencia a que exista una red de monitorización de estos gases en la superficie o el suelo del vertedero de Sardas ni sobre las formaciones aluviales de fondo de valle afectadas. Esto sería de gran interés por varias razones:

- En primer lugar, permitiría plantear medidas para el guiado y neutralización de estos vapores altamente contaminantes antes de que se propaguen en el medioambiente. Este problema puede acentuarse si se realizan actuaciones de tratamiento de suelos que generan gases contaminantes, como ocurre con las técnicas térmicas o electrocinéticas.
- En segundo lugar, sería un método adicional de prospección del avance de la aureola de contaminación en las aguas del acuífero o de confirmar su apantallamiento por los materiales suprayacentes y de caracterización de la situación de la contaminación en los suelos y formaciones geológicas más superficiales. Debe tenerse en cuenta que los mismos mecanismos que están dando lugar al transporte de lindano hasta las aguas del embalse de Sabiñánigo, estarán favoreciendo su exposición a procesos de evaporación y volatilización a la atmósfera.
- En tercer lugar, ayudaría a entender la evolución de estos contaminantes dentro del propio vertedero, del acuífero y de los sedimentos suprayacentes, dado que estos gases pueden modificar las condiciones físico-químicas del transporte de contaminantes en disolución en el agua.
- Esta información serviría para evaluar el efecto de esta vía de migración en las aguas del río Gállego y del embalse, y sumar o descontar este impacto de los datos de vigilancia.



- Por último, debe evaluarse el interés de incluir el estudio del impacto de estos gases caracterizados como plaguicidas en las poblaciones de insectos polinizadores en los programas de vigilancia ambiental.

3 DEFINICIÓN DEL SISTEMA HIDROLÓGICO DE INTERÉS

De acuerdo con el objeto del encargo, se ha definido el propio embalse de Sabiñánigo como el sistema hidrológico de interés sobre el que centrar el estudio de la afección por lindano al río Gállego. Este sistema está afectado, por tanto, únicamente por fuentes de contaminantes ubicadas aguas arriba de la presa de Sabiñánigo. En la margen derecha del embalse de Sabiñánigo se ubica la antigua fábrica de INQUINOSA y en su margen izquierda el emplazamiento del vertedero de Sardas, que constituyen sus principales fuentes potenciales de contaminación por residuos de la fabricación de lindano.

En los apartados siguientes se describen los componentes principales de este sistema hidrológico en cuanto a balance de masas de agua y de contaminantes, tiempo de tránsito del agua en el sistema, estaciones de aforo y muestreo para el análisis de la calidad del agua que se han usado en su caracterización, modelo hidrogeológico de las formaciones que constituyen las base y los bordes del embalse, y fuentes de contaminación que le afectan. Como se verá, su caracterización no está exenta de incertidumbres cuya identificación servirá para evidenciar necesidades de trabajos futuros. Se incluye un apartado adicional en el que se aborda la estabilidad y el sellado del vertedero de Sardas como principal foco de contaminación objeto de este estudio.

3.1 Modelo hidrológico. Redes de aforo y de muestreo

Desde el punto de vista del balance de agua, debido a su reducida capacidad de almacenamiento, el embalse de Sabiñánigo se comporta más como un tramo de río y está caracterizado principalmente por sus entradas en cabecera y sus salidas aguas abajo de la presa de Sabiñánigo, que son el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo (CHS) y el propio río Gállego inmediatamente aguas abajo de la presa (Figura 19) y por las operaciones de gestión que regulan su nivel de agua. En cuanto al balance de masas de contaminantes que pueden entrar y salir del sistema en fase disuelta hay que considerar, además, las procedentes de las aguas subterráneas de su entorno más próximo.

Este sistema así definido ha sido contemplado sólo parcialmente por los trabajos realizados hasta la fecha en esta zona, que se han centrado en la caracterización del vertedero y del acuífero aluvial afectado, si se exceptúa el estudio de GEOCISA para la CHE de 2010 sobre los sedimentos del sustrato del embalse y los trabajos de la Universidad de La Coruña contenidos en los informes anuales de seguimiento hidrogeológico del Gobierno de Aragón, en los que se modeliza en detalle la conexión entre acuífero y embalse. Como se verá a continuación, la falta de coincidencia entre las estaciones de aforo y los puntos de muestreo dificulta el cálculo del balance de agua y contaminantes de este sistema y ha obligado a realizar durante este trabajo una serie de aproximaciones para elaborar un diagnóstico de la situación que tenga validez.

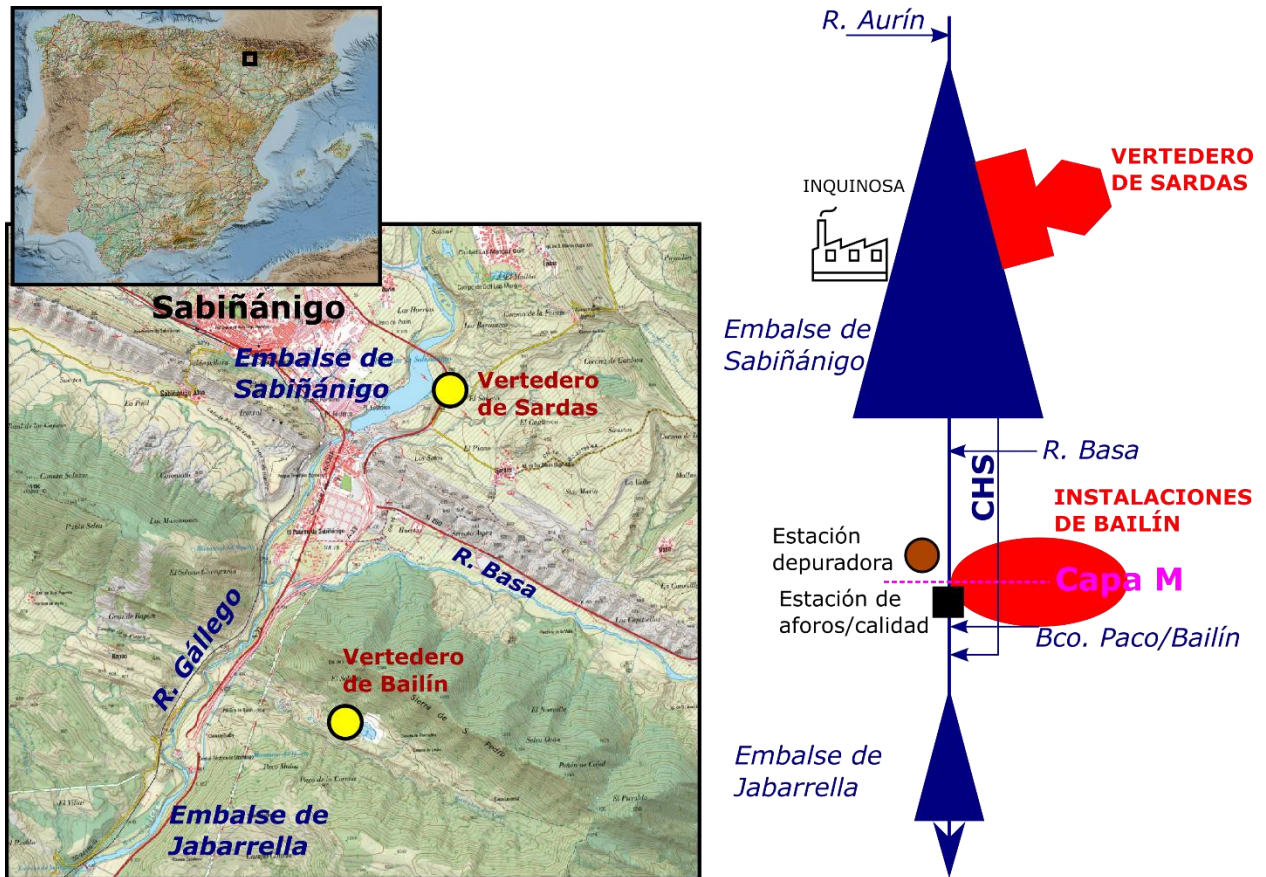


Figura 19 Situación y esquema del sistema hidrológico de interés

En la Figura 20 se muestra la ubicación de las principales estaciones de aforo y de muestreo existentes en el entorno de Sabiñánigo, con su codificación inicial. Un esquema más completo del río Gállego aguas arriba y aguas abajo del embalse de Sabiñánigo y los detalles de evolución de los caudales de las principales estaciones de aforo pueden verse en el Anejo VIII.

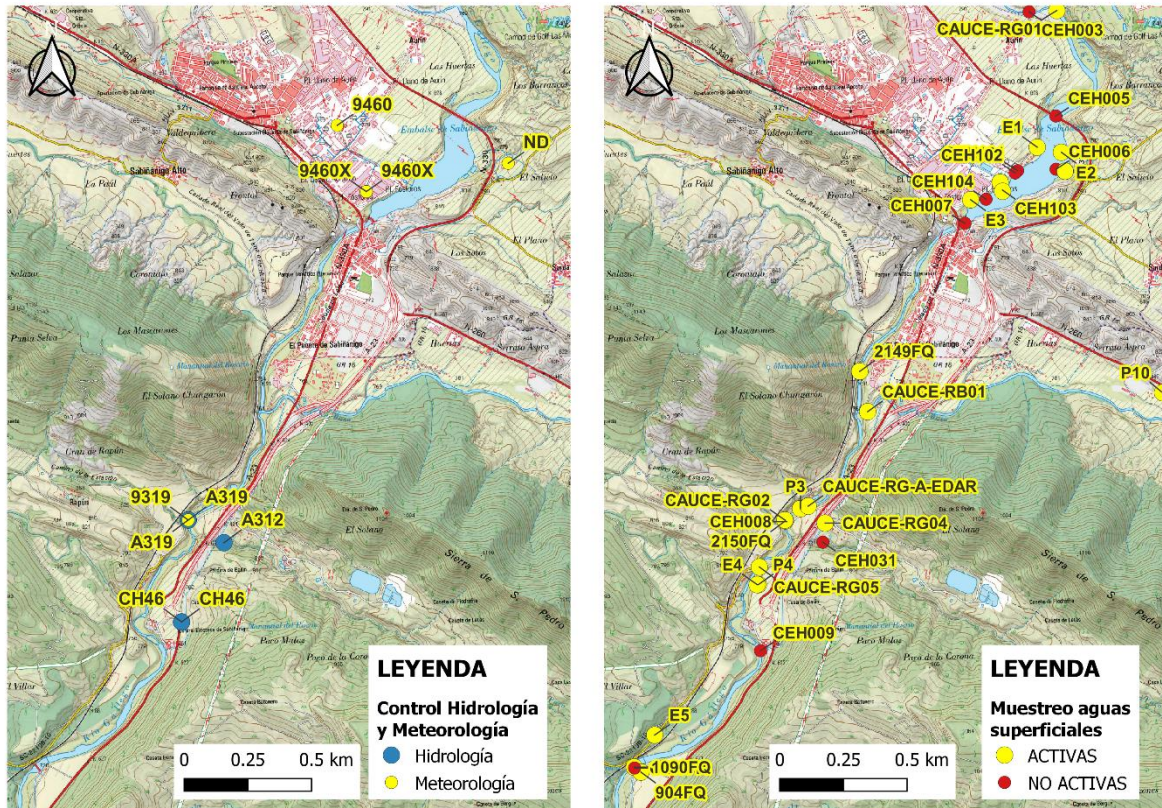


Figura 20. Ubicación de estaciones meteorológicas y de aforo y puntos de muestreo en el entorno del embalse de Sabiñánigo

A falta de estaciones de aforo en la cabecera del embalse de Sabiñánigo, la definición del balance de agua de este sistema, en cuanto a entradas y salidas de aguas superficiales, puede sólo aproximarse a partir de los datos de aforo de las estaciones ubicadas aguas abajo del embalse. Estas salidas se han estimado, para su aplicación al punto de muestreo de Jabarrella, mediante la suma de los caudales de: i) la estación 9319 (según la codificación de la CHE), registrados en el río Gállego entre la salida de la depuradora de Sabiñánigo y la desembocadura del barranco de Bailín; ii) la estación CH46, registrados en el CHS, y iii) la estación A312, en el arroyo de Bailín en su desembocadura al río Gállego. El valor obtenido es de 12,5 m³/s de mediana a partir de la serie prácticamente continua de aportaciones registradas desde el año hidrológico 2011/12 hasta la actualidad. Esta suma de caudales es suficientemente aproximada para la mayor parte de este periodo, pero debe recordarse que la estación 9319 incluye, además de las salidas del embalse de Sabiñánigo, las aportaciones de los ríos Tulivana y Basa (Figura 1) y de la depuradora de Sabiñánigo, que pueden ser relevantes durante los momentos de mayores precipitaciones y caudales, además de los caudales de otros cauces de menor importancia.

En cuanto a otras posibles contribuciones, la aportación de las aguas de precipitación sobre la lámina de agua del embalse se considera despreciable dada su reducida extensión superficial. Las entradas de lixiviados procedentes de la llanura de inundación y las pequeñas cárcavas de las orillas del embalse se consideran de caudal insignificante, pero, dada su posible elevada concentración de isómeros de HCH, serán objeto de estudio en el capítulo siguiente, en el que se postula el origen de esta contaminación. Por

último, las aportaciones al embalse de aguas subterráneas pueden considerarse también despreciables en cuanto a caudal, pero es clave identificar su origen también por la elevada concentración de HCH que contiene. Por un lado, las posibles surgencias laterales que pudieran provenir de las terrazas colgadas de la margen derecha del río se consideran de poca entidad, aunque convendría hacer un reconocimiento de campo que confirmara la situación de los puntos de muestreo y análisis que se utilizaron en el estudio del CEDEX de 1990, en el que se mencionan dudas sobre el origen de algunos puntos de vertido que pudieran corresponder a manantiales de una relativa entidad con contenidos en HCH de hasta 15 µg/L. Por otro lado, según los trabajos más recientes de la Universidad de La Coruña en EMGRISA (2020), el caudal medio de descarga hacia el embalse desde los limos de su lecho es unos cuatro órdenes de magnitud inferior a las aportaciones de aguas superficiales. El propio estudio advierte de la gran variabilidad de la conexión río-acuífero que es función de las oscilaciones del nivel del embalse. En ese mismo trabajo se indica que la conexión de las aguas del acuífero con las aguas del embalse está limitada a través de las formaciones suprayacentes de limos y arenas, como demuestra el hecho de que las oscilaciones del nivel y la temperatura del agua en el embalse llegan amortiguadas y desfasadas en el tiempo al acuífero.

Una vez revisada la información de interés para conocer de forma aproximada el balance de agua del sistema, quedan por definir dos aspectos del sistema que son importantes para el problema planteado en este encargo, como son el régimen de regulación del embalse y el tiempo de tránsito del agua en el mismo. La Figura 21 muestra los niveles máximo y mínimo diario del embalse en Sabiñánigo registrados por la red SAIH de la CHE. Son el resultado de las operaciones de gestión del CHS y de las aportaciones que llegan de la cuenca y sistema hidráulico. Los niveles máximos están limitados por el nivel de operación del embalse y por las operaciones de laminación. De la diferencia de ambas series de máximo y mínimo diario se calcula la oscilación máxima diaria en el embalse.

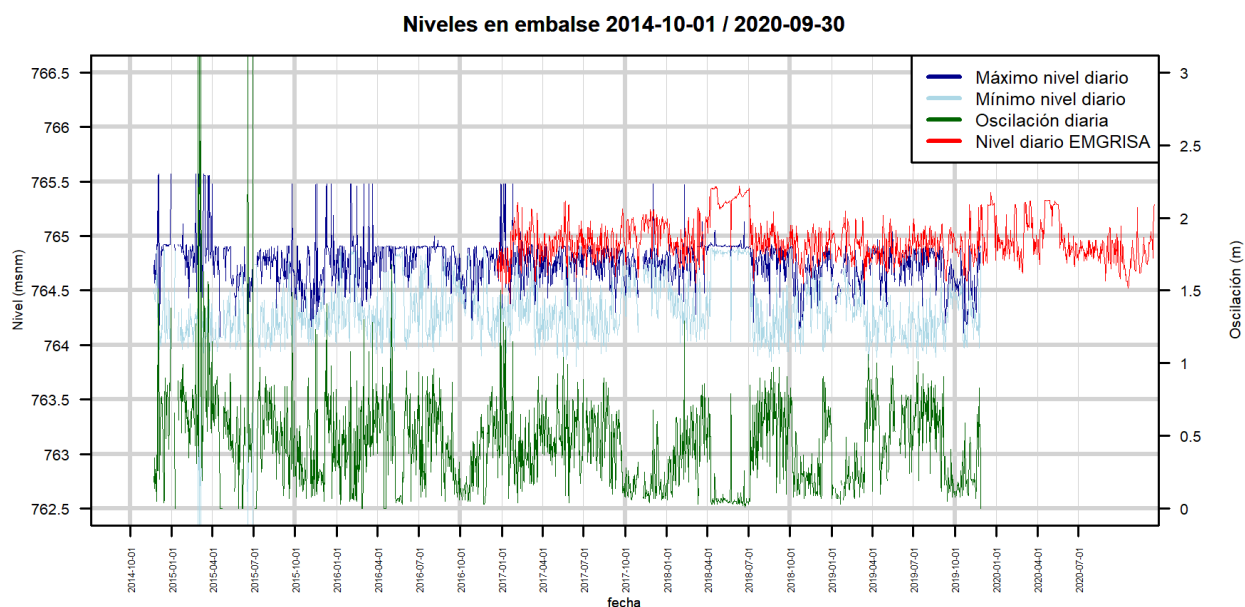


Figura 21. Series de niveles máximo y mínimo diario y oscilación diaria en el embalse de Sabiñánigo

La oscilación de niveles rara vez supera 1 m y es variable a lo largo del año, aunque aparentemente es mayor durante la primavera y verano. Finalmente, en la gráfica se incluyen los niveles diarios medidos por

EMGRISA en un punto del embalse próximo al vertedero, aproximadamente a unos 750 m de distancia de la cerrada, observándose que son superiores a los máximos diarios en unos 30 o 40 cm, pudiéndose deber a esa distancia. Cabe mencionar que durante la realización del presente informe la CHE ha vuelto a nivelar la referencia para la medida del nivel del SAIH en el embalse de Sabiñánigo, no observando diferencia significativa respecto a los valores previos.

La Figura 22 muestra un diagrama de cajas de las oscilaciones diarias del embalse clasificadas por meses. Previamente se han filtrado las oscilaciones de 5 días de febrero (día 28), marzo (días 3 y 6) y junio (días 18 y 30) de 2015, cuyas oscilaciones entre niveles máximos y mínimos diarios superan los 6 m, por lo que se suponen erróneos. También se han filtrado los datos de oscilación de embalse comprendidos entre las fechas de abril y julio de 2018 en los que aparentemente no hay operación hidroeléctrica.

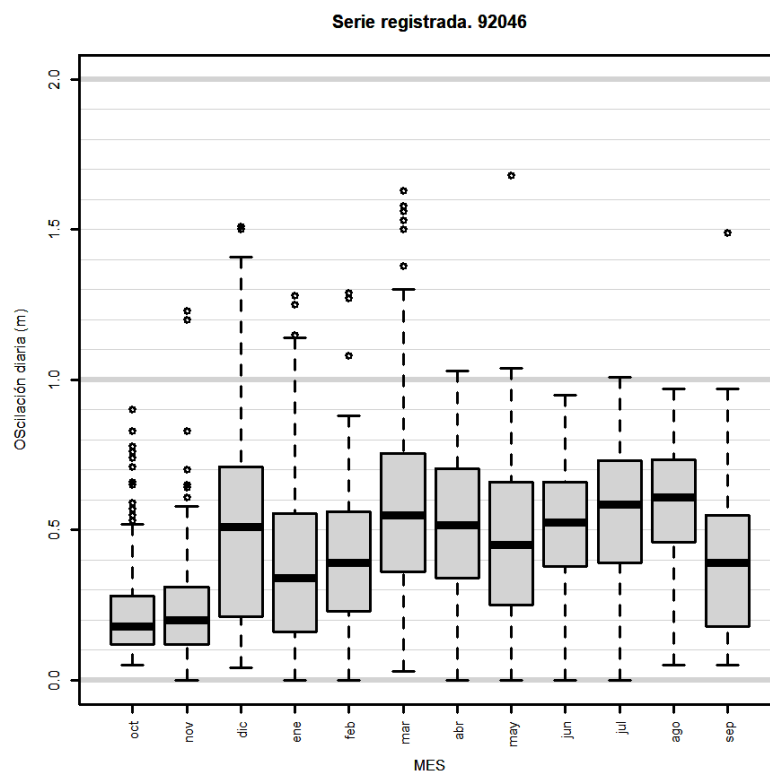


Figura 22. Diagrama de cajas de la oscilación de niveles diarios del embalse de Sabiñánigo

En la Figura 22 por tanto, se comprueba que los valores de tendencia central son mínimos en otoño, después de la época seca, y los máximos se dan en primavera y verano. La variabilidad, que podría considerarse indicativo de la actividad de manejo del embalse, es mayor también entre diciembre y septiembre, seguramente a causa de la variabilidad en la disponibilidad de aportaciones de estos meses. El hecho de que el período de menor oscilación del nivel del agua del embalse, manteniéndose éste en su cota alta, sea con mayor frecuencia de septiembre a noviembre, podría tener su significación en cuanto al freno que puede suponer este nivel alto para la llegada de lixiviados desde las orillas al embalse.

Dada la capacidad reducida de almacenamiento de esta infraestructura hidráulica 0,093 hm³ según GEOCISA (2010), la imposición de este régimen sobre el sistema no afecta al balance anual ni siquiera diario de agua del embalse, pero sí genera una interferencia de corto período en la relación del río con las

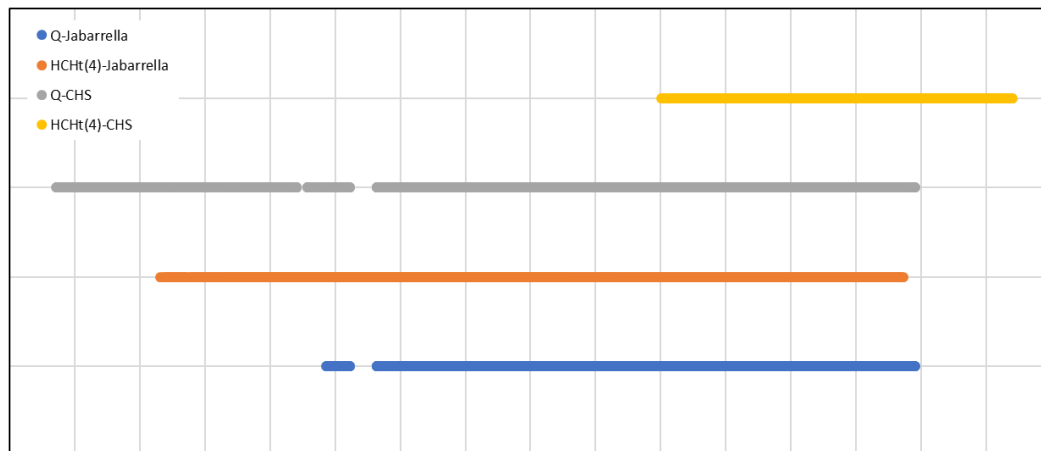


aguas subterráneas de las formaciones de su lecho y las aguas superficiales de escorrentía de ribera o llanura de inundación que pueden tener implicaciones importantes sobre la calidad de sus aguas. Estas interacciones se analizarán en el siguiente capítulo de Diagnóstico junto al estudio de las posibles causas de los episodios de contaminación objeto de este trabajo.

En cuanto al tiempo de tránsito o de renovación del agua en el embalse de Sabiñánigo, el cálculo ofrece un valor de unos 10 embalses circulantes cada día, dividiendo el caudal obtenido como mediana desde 2011 hasta la actualidad de 12,5 m³/s por la capacidad de almacenamiento de 93000 m³. Este dato, al que no se ha encontrado referencia en ninguno de los estudios consultados hasta la fecha es de crucial importancia para plantear la vigilancia de la calidad del agua de este sistema. De hecho, esta alta capacidad de renovación del agua el embalse de Sabiñánigo cuestiona la representatividad del muestreo y dificulta la interpretación de sus resultados, cuando la periodicidad de éste es semanal o incluso anual. Este aspecto se desarrollará en el apartado de propuesta de trabajos futuros.

En la caracterización del balance de masas de contaminantes en el embalse de Sabiñánigo, las entradas de lindano en el agua superficial en cola se consideran nulas o suficientemente bajas para no afectar a los episodios objeto de este trabajo, a pesar de que los resultados de los programas de vigilancia del estado ecológico del río Gállego definen valores altos para el fondo de la concentración de HCH en suelos y sedimentos del río Aurín, aguas arriba del embalse. El resto de entradas pueden evaluarse sólo de forma aproximada a partir de los datos de concentración medida en los puntos de muestreo aguas abajo del embalse. Para los objetivos de este encargo se han considerado los dos siguientes: i) el punto ubicado en el CHS, con denominación CAUCE RG04, con muestreo y análisis integrado dos veces por semana perteneciente a la red de calidad del agua que gestiona el GA, y ii) el punto 904FQ del embalse de Jabarrella con muestreo y análisis integrado semanal perteneciente a la red de alerta que gestiona la CHE por lo que su información es clave para la evaluación del riesgo de contaminación por lindano en el río Gállego (Figura 19 y Figura 20). El primero de estos dos puntos delimita las salidas del sistema de forma que garantiza que el origen de la contaminación del río Gállego medida es atribuible incuestionablemente a una entrada desde el embalse de Sabiñánigo. El punto de muestreo de Jabarrella tiene utilidad para comparar los resultados obtenidos, por ser el que proporciona la serie más larga y más continua de información en la zona de estudio, aguas abajo del embalse de Sabiñánigo. Su serie abarca un periodo de varias décadas con datos de periodicidad mínima semanal desde 2008. Sin embargo, no puede olvidarse que en este punto el río Gállego ha captado, por la margen izquierda del río, las aguas del río Basa y las entradas de agua superficial y agua subterránea de la cuenca del barranco de El Paco que pueden contener contaminantes del antiguo vertedero de Bailín y, por su margen derecha, las aportaciones de los ríos Tulivana y Avena y de la depuradora de Sabiñánigo.

La Figura 23 muestra la información disponible sobre caudal y concentración de HCH en estos dos puntos de muestreo que será utilizada posteriormente para el análisis cualitativo y cuantitativo de los episodios de contaminación y su flujo másico.



ene.-06 ene.-07 ene.-08 dic.-08 ene.-10 ene.-11 ene.-12 dic.-12 ene.-14 ene.-15 ene.-16 dic.-16 ene.-18 ene.-19 ene.-20 dic.-20 ene.-22

Figura 23. Datos disponibles de caudal (Q) y concentración de HCH total (HCHt (4)) en los puntos de muestreo del CHS y embalse de Jabarrella

La discusión de las posibles entradas de contaminantes al embalse de Sabiñánigo, que deben estar asociadas probablemente a un pequeño flujo de agua, pero con una concentración suficiente de HCH para generar un problema ambiental, será parte del capítulo de Diagnóstico, y se basará en la interpretación de los episodios de contaminación del río Gállego seleccionados y en toda la información analizada que permiten definir el sistema del embalse de Sabiñánigo y evaluar sus condiciones de borde. Como se comentó de forma preliminar al tratar sobre el balance de agua en este mismo apartado, las entradas de contaminantes al embalse pueden proceder de las aguas subterráneas, del suelo de las parcelas de sus orillas, o de la difusión desde los sedimentos de su lecho, entradas que son difíciles de identificar y cuantificar.

3.2 Fuentes de contaminación

Se considera que las principales fuentes de contaminación de residuos del lindano en el río Gállego en el embalse de Sabiñánigo proceden de los emplazamientos del vertedero de Sardas, de los terrenos afectados por éste y de la antigua fábrica de INQUINOSA.

3.2.1 Vertedero de Sardas

El vertedero de Sardas cuenta con 400.000 m³ de residuos urbanos e industriales, de los cuales entre 50.000 m³ y 80.000 m³ son compuestos sólidos de HCH (mezcla de sus isómeros α , β , γ , δ , y ϵ), y otros 3.000 m³ son de residuos líquidos, denominados fase libre.

Por lo que respecta a los residuos sólidos, de acuerdo con la información estudiada, los residuos con mayor peligrosidad presentes en el vertedero son los que proceden de la fabricación del lindano que se encuentran en forma de polvo. En 2016 se hizo un estudio para estimar el volumen de HCH en polvo en el vertedero de Sardas mediante la información obtenida de 20 sondeos. El cálculo se realizó con el método de los polígonos de Thiessen para una densidad del HCH en polvo de 1,5 t/m³, una proporción de mezcla HCH:resto del 20% en algunas zonas y los espesores de HCH observados. Se estimó un volumen total de 60 000 m³ de HCH en el vertedero (EMGRISA, 2016).



La posible movilización por disolución o volatilización de estos residuos debería estar limitada. Por un lado, aproximadamente la mitad del volumen total de residuos está sumergido en agua, lo que dificulta la volatilización. Por otro lado, estos residuos tienen una baja solubilidad en agua. Sin embargo, en las condiciones del vertedero, al menos la vía de migración por disolución puede estar abierta y oscilar estacionalmente en su intensidad con la variación del nivel freático. Los residuos están saturados hasta la mitad de su profundidad y en contacto no sólo con agua sino con otros fluidos en los que su solubilidad puede ser mayor y con otros compuestos en disolución que pueden coadyuvar en este proceso. Entre estos componentes están los que fueron vertidos al mismo tiempo que los residuos de HCH, algunos de los cuales entran en la categoría de disolventes de HCH, y los que se están introduciendo con posterioridad en la aplicación de técnicas que potencian la eficacia de la extracción de fase libre. No se ha encontrado información que permita descartar la posible movilización de los contaminantes en forma sólida por el efecto de las técnicas de restauración y extracción de fase de densa que se están aplicando.

Respecto a la fase gaseosa procedente de la evaporación y volatilización de los residuos sólidos y líquidos de lindano existentes en Sardas, cabe mencionar que no se dispone de información referente a los volúmenes generados y su composición ni de la existencia de una red que permita su monitorización en el vertedero y en los suelos y aguas afectados de su entorno.

En cuanto a los residuos líquidos, estos están formados por una mezcla de fase densa (DNAPL) y fase ligera (LNAPL), en una proporción muy superior de la primera respecto de la segunda, y están compuestos mayoritariamente por productos de síntesis y subproductos de la fabricación del lindano, todos ellos concentrados en una fracción de disolventes orgánicos, principalmente clorobenceno (CB), y entre los que destacan la mezcla de isómeros de HCH, compuestos orgánicos semivolátiles (COSV) como los heptaHCH y pentaHCH, y volátiles (COV). Además, dado que el HCH se transforma por degradación biótica aeróbica en COSV, se pueden encontrar igualmente heptaHCH y derivados deshalogenados como policlorobencenos, ciclohexenos y fenoles, o por degradación anaeróbica en gas metano y COV como los clorobencenos (clorobenceno CB, diclorobencenos DCBs, triclorobencenos TCBs). Destaca de todos ellos la presencia de esta fase libre densa organoclorada (DNAPL) por la complejidad que presenta su comportamiento en el medioambiente que dificulta su localización y extracción. Su caracterización como DNAPL hace que su extracción por bombeo no sea efectiva y que su movimiento sea preferentemente vertical descendente una vez alcanza el medio subterráneo, lo que suele motivar la extensión de su contaminación a amplias zonas, como se ha comprobado en el emplazamiento de Sardas.

Aunque a partir de los datos de sondeos se haya considerado un volumen vertido inicial de DNAPL próximo a los 3 000 m³, unas 20 veces inferior al de HCH en polvo estimado por EMGRISA (2016), no se dispone de información fiable suficiente para determinar si hay reparto porcentual entre esta fase densa y la de LNAPL, dada la gran volatilidad de sus componentes.

En la zona sureste del vertedero se vertió adicionalmente una cantidad importante de residuos alcalinos, tales como sosa y potasa, de la que no se disponen de datos de volumen y que puede alcalinizar de forma significativa el agua subterránea que circula a través de ellos, favoreciendo así la degradación del HCH por hidrólisis alcalina con aguas subterráneas con pH superior a 9, lo que deriva en la formación de compuestos similares a los obtenidos en la degradación biótica aeróbica. El impacto de estos residuos puede corresponder a las observaciones realizadas por el CEDEX en 1990 en las aguas del embalse en la orilla izquierda aguas abajo del aporte de lixiviados del vertedero de Sardas, cuando se midió un valor anómalo



de pH superior a 9 coincidente con un valor de temperatura también anómalo de 21°C, frente a los 14°C de media medidos en el embalse.

En el Anejo IX se aporta una relación de los contaminantes presentes en el vertedero de Sardas clasificados según su tipología, volátiles (COV), semivolátiles (COSV) y metales pesados, señalando cuándo se ha detectado su presencia en las muestras de suelos, de lixiviados procedentes de los residuos del vertedero, de aguas superficiales y subterráneas, o en sus sedimentos asociados, así como una relación de los principales contaminantes derivados de la fabricación de lindano que hay en cada una de las fases (sólida, líquida y gas) presentes en el vertedero de Sardas. La amplia mezcla de sustancias detectadas se debe a que al vertedero de Sardas llegaron contaminantes de procedencia muy variada como los residuos urbanos y domésticos, o los procedentes de actividad industrial y agrícola.

En el vertedero se da un aumento de la concentración de HCH total en la época estival en algunos puntos cercanos a la cárcava norte. En esa época la temperatura máxima ambiental es de 30°C, con un aumento de la temperatura del agua subterránea respecto al invierno. De hecho, la solubilidad de los contaminantes es tan sensible a la temperatura que una pequeña variación como esta podría conllevar un aumento de hasta 1,5 veces de la solubilidad del γ -HCH en agua pura (7,3 mg/l a 25°C), y de hasta 3 veces en agua saturada de tolueno u otros COV como el B, CB y DCB (75-250 mg/l a 25°C). Es más, este incremento de COV disueltos en un agua subterránea que entrara libre de contaminantes al vertedero, podría conllevar a temperaturas próximas a 25°C un aumento de hasta 30 veces la solubilidad del γ -HCH a 25°C con respecto a la que presenta en agua libre de COV, lo cual promovería a su vez el mecanismo de movilización de HCH por dilución en disolventes volátiles tales como el B y CB. Este valor puede ser significativamente mayor si se da arrastre de fase libre por emulsión o suspensión en el agua subterránea que fluye por el vertedero. Por último, una pequeña variación de temperatura de pocos grados podría dar lugar a una disminución significativa del coeficiente de adsorción K_d de los contaminantes HCH en el suelo, lo que se traduciría en un aumento considerable de su movilidad en los medios edáfico e hídrico circundantes.

Para los materiales de vertedero se ha obtenido, a partir de ensayos *in situ*, una permeabilidad elevada, de 0,1-2 m/d, de modo que un volumen no determinado de fase libre puede fluir libremente por su red porosa junto al agua de infiltración que irá disolviendo a su paso compuestos solubles existentes en el mismo. A su vez, esta agua con compuestos contaminantes en fase disuelta, tal y como ocurre con el DNAPL, se puede infiltrar en las margas subyacentes a través de las fracturas o zonas de alteración existentes o en el contacto del vertedero con los suelos y rellenos por debajo de la pantalla frontal, como se verá en el apartado siguiente.

3.2.2 Parcelas ubicadas al pie del vertedero

En el apartado 2.5, Modelo geológico, se han descrito las formaciones geológicas sobre las que se ubican estas parcelas. Según la información consultada en los informes de caracterización de la contaminación en el entorno del vertedero de Sardas, se ha detectado fase libre y la cohorte de contaminantes en disolución que la acompañan tanto en los rellenos superficiales de estas parcelas como en los limos, gravas y margas subyacentes.

Según el modelo propuesto por EMGRISA (2020) la fase libre ha migrado desde el vertedero hacia las zonas de menor cota por varias vías: i) superficialmente, desde el desagüe natural de la antigua cárcava que fue empleada como vaso de vertido o desde una antigua balsa que recogía los lixiviados del frente del vertedero ubicada a su pie hasta la construcción de la carretera N-330/E-7; ii) subsuperficialmente, a favor de los



rellenos que tienen una mayor permeabilidad que las formaciones subyacentes de limos; y iii) subterráneamente, a favor de las gravas del acuífero y de las discontinuidades de las margas de Larrés.

Adicionalmente, debe tenerse en cuenta que estos rellenos contienen parte de los residuos del vertedero que fueron cortados por la carretera N-330/E-7 y se dispusieron sobre estos terrenos en los primeros años 90, lo que constituye una fuente adicional de contaminación a tener en cuenta. Se desconoce de modo preciso qué tipo de relleno se utilizó para colmatar el desagüe natural de la antigua cárcava, pero ese relleno alcanzó mayor profundidad y en él se encuentra el mayor número de elementos de control del sistema.

3.2.2.1 Rellenos y limos subyacentes

El estudio de EMGRISA (2010) sobre remediación del subsuelo de las parcelas al pie del vertedero de Sardas incluye una caracterización exhaustiva de los 6 metros más superficiales de estas formaciones mediante la realización de 23 calicatas y 12 sondeos para determinar su espesor (3 m para los rellenos, hasta 12 m para los limos y hasta 4 m para las gravas del acuífero) y su grado de afección por la contaminación por HCH y metales pesados. Como resultado de dicho estudio, se constató la presencia generalizada de HCH en los rellenos, con concentraciones elevadas en los limos, el acuífero y las margas subyacentes y fase libre en varios sondeos. La afección más severa se encontró localizada en las proximidades de una surgencia de DNAPL al pie del talud de la carretera y a lo largo del eje de la antigua cárcava por donde desaguaba el vertedero en el pasado.

En el Anejo X se presenta información adicional y cartografía sintética sobre el estado de la contaminación en rellenos y limos. Entre esta información adicional destacan las medidas de la concentración de COVs en los testigos de varios sondeos realizados en estos materiales durante 2018 y 2019, que revelan la complejidad del flujo multifase en este emplazamiento. Se observa presencia de COVs en la mayor parte del perfil salvo en los metros más superficiales y las mayores concentraciones se dan en los limos, en la zona de mayor oscilación del nivel freático.

No se ha encontrado una propuesta de modelo conceptual que apoye la identificación de los procesos de movilización en la vertical del conjunto de compuestos densos y volátiles observados en estos limos y de sus interferencias cruzadas, un trabajo que podría ayudar a cuantificar la migración vertical ascendente de estos contaminantes y su paso a las aguas superficiales o a la atmósfera, con las graves implicaciones que esto puede tener para la calidad ambiental del entorno del vertedero. Los modelos 1D de transporte a través de los sedimentos del fondo del embalse elaborados por la Universidad de La Coruña en EMGRISA (2020) son un importante avance en este sentido, pero sólo abordan el transporte de HCH y su interacción con el medio mediante valores aproximados de espesor de los limos, conductividad hidráulica y K_d .

Cabe destacar que, al igual que en la descripción que se hizo de la distribución de la contaminación en el vertedero, en estos materiales destaca también la gran variabilidad espacial y temporal que se ha registrado en los análisis realizados en los estudios previos. Esta variabilidad, que afecta también a los porcentajes relativos de los isómeros de HCH presentes en cada zona y en cada muestreo, dificulta la identificación de una "huella" multicomponente o de isómeros que pueda atribuirse de forma incuestionable a un origen u otro. El isómero α -HCH es, en general, el más abundante en las catas del estudio de EMGRISA (2010), y el isómero ϵ -HCH el menos abundante, pero la proporción del resto de isómeros es variable.



3.2.2.2 Acuífero

Parte de los mayores esfuerzos de los trabajos que componen los informes de seguimiento hidrogeológico desde el año 2010 hasta la actualidad se ha dedicado a la descripción de la contaminación en el acuífero que se encuentra semiconfinado bajo los limos que cubren la mayor parte de la superficie de las parcelas a pie del vertedero de Sardas. Dichos informes contienen los datos analíticos obtenidos a partir de más de 60 sondeos equipados como piezómetros y puntos de muestreo de aguas y su interpretación en forma de mapas de isoconcentraciones en el acuífero y de modelos de transporte.

Destaca del análisis de estos datos la presencia de una pluma de contaminación que ocupa una extensión de acuífero de unos 20000 m² con concentraciones de HCH y CBC superiores a 100 µg/L, la mitad de la cual presenta valores de más de 1000 µg/L para la concentración de HCH y superiores a 10000 µg/L de CBC. En el centro de esta pluma, que se extiende desde el E en la zona de vaguada a continuación de la confluencia de las cárcavas del vertedero hacia el SO en dirección al embalse, se detecta también fase libre (DNAPL) en varios puntos, compilados en parte en la Tabla 3.

Tabla 3. Presencia de DNAPL en gravas y arenas en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

SONDEO	FECHA	GRAVAS ARENOSAS
PS-14B	2018	Gotas de DNAPL a muro.
PS-14C	2019	Gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO
PS-14D	2018	Abundantes gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO
PS-14E	2019	16.00 m testigo impregnado en DNAPL
PS-14G	2019	A partir de 13 m Irisaciones y olor
PS-14H	2019	12.40-12.70 m Irisaciones y olor
PS-14I	2019	Irisaciones y olor
PS-14J	2019	Irisaciones y olor 15.40 gotas DNAPL
PS-14L	2019	Irisaciones y olor 14.90 gotas DNAPL

Una observación relevante para definir el alcance de la contaminación que afecta a estas parcelas es que en el informe de GEOCISA (2010) para la CHE, se propuso el sondeo ST-2 como ejemplo de “blanco ambiental”. Sin embargo, en la Figura 24 se aprecia que este punto muestra afección por HCH en los últimos años (se representa α -HCH). Lo mismo ocurre con el punto SPN1, situado más al norte, y, por tanto, más alejado de lo que se considera el principal foco de contaminación. En la Figura 24, las concentraciones de α -HCH en ambos puntos, SPN1 y ST-2, se comparan con las medidas en el punto ST1, claramente afectado por estar ubicado en la zona de salida de los lixiviados del vertedero de Sardas (Figura 25).

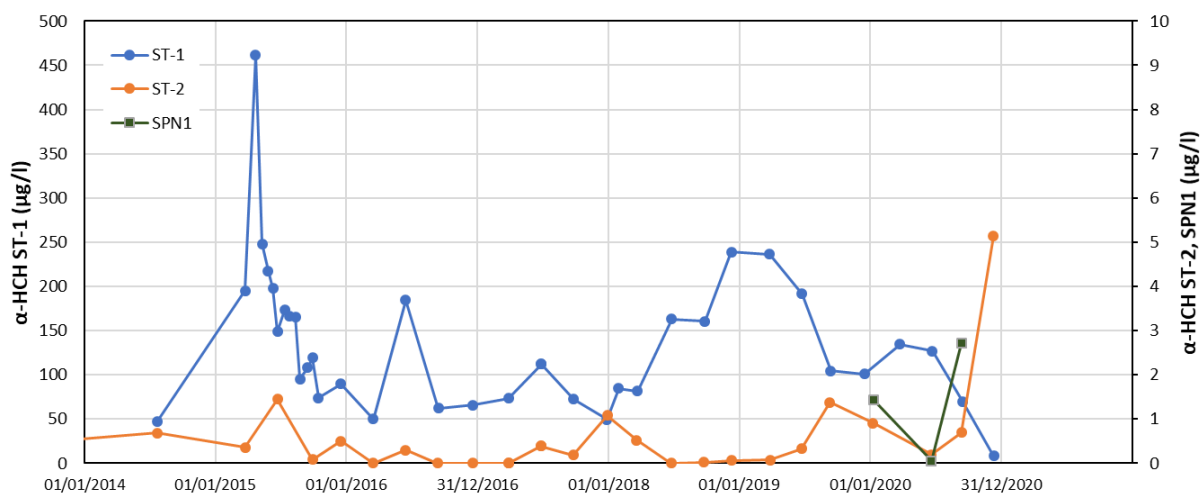


Figura 24. Concentración de α HCH en los puntos de muestreo ST-1, SPN1 y ST-2



Figura 25. Ubicación de los puntos de muestreo SPN1 y ST-2 en el acuífero en relación con el vertedero de Sardas y el punto de muestreo ST-1

3.2.2.3 Sustrato. Margas

Se ha encontrado contaminación en el sustrato margoso. No obstante, no se han encontrado evidencias que permitan garantizar que este flujo contaminante no ha ocurrido por gravedad en el muro del acuífero aluvial, a favor de su contacto con las margas subyacentes con las que hay un gran contraste de permeabilidad. No se puede descartar tampoco la posibilidad de que la perforación de un cierto número de sondeos pueda haber favorecido la conexión de los niveles más superficiales, contaminados por DNAPL, con el sustrato margoso, haciendo engañosa la interpretación de la migración de estos contaminantes a su través



Ese flujo en las margas se puede haber producido también de forma natural a favor de las fracturas interconectadas, aunque podría incrementarse localmente, como se ha mencionado, por estar afectadas o conectadas a través de las perforaciones de los sondeos realizados.

3.2.3 Fábrica de INQUINOSA

En cuanto a los contaminantes procedentes directamente del emplazamiento de la antigua fábrica de INQUINOSA, su descripción y el riesgo de una posible contaminación de isómeros de HCH con este origen, fue evaluado anteriormente por el propio CEDEX en 1989-1990 y por la CHE en 2010, concluyendo que éste era bajo una vez cerrada la fábrica, pero no podía descartarse la posible aportación de contaminantes a las aguas del embalse por lavado de los limos de su fondo. Así lo sugerían los análisis de sedimentos y del agua intersticial de los testigos recuperados en varios sondeos perforados en estos materiales en las inmediaciones de la antigua planta de INQUINOSA que se presentan en el apartado siguiente. También podría inferirse de los resultados analíticos de los seguimientos ecológicos de los cauces de la cuenca del río Gállego del GA.

Los análisis de las aguas de otros emisarios identificados en dicho estudio (colector de drenaje de pluviales del Polígono Fosforera, y una riera que desemboca en el Brazo de INQUINOSA) realizados por la CHE en abril de 2010 indicaron la ausencia de contaminación.

3.2.4 Sedimentos de colmatación del embalse de Sabiñánigo

Además de los trabajos mencionados del CEDEX de 1989 y 1990), la caracterización de estos materiales se ha realizado en los estudios “Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos”, elaborado por Geotecnia y Cimientos S.A. (GEOCISA) para la CHE en 2010; y en el trabajo “Actuaciones realizadas en la ejecución de la primera fase del Proyecto de recuperación de la cuenca Alta del río Gállego”, elaborado por Técnicas de Protección Ambiental (TPA) S.A. para el GA en 1991.

Los análisis de estos sedimentos mostraron la existencia de valores de 740000 µg/kg (CEDEX, 1990) y 260000 µg/kg (TPA, 1991) de concentración de HCH en un punto de la margen derecha del embalse junto al antiguo vertido de INQUINOSA. También se midieron valores de 1269 µg/kg (CEDEX, 1990) y 661 µg/kg (TPA, 1991) en la margen izquierda del embalse que se atribuyeron a lixiviados desde el vertedero de Sardas, lo que llevó a concluir que la redisolución en el agua del HCH contenido en los sedimentos podía dar lugar en el futuro a la detección de HCH en las aguas del río Gállego en el embalse de Sabiñánigo.

Otra importante observación del estudio del CEDEX, en el que se realizaron muestreos y análisis en octubre de 1989 y mayo de 1990, es la gran variabilidad espacial y temporal de los resultados de los análisis de contaminantes que se atribuyó a la alta movilidad de los sedimentos superficiales del embalse.

Por otro lado, los resultados de los informes anuales para el seguimiento ecológico de los cauces de la cuenca del río Gállego permiten observar cambios en la situación de la contaminación en aguas, sedimentos, poblaciones piscícolas, flora acuática y macroinvertebrados en unas 10 estaciones de muestreo en cauces y unas 7 estaciones de muestreo de sedimentos y agua en embalses desde 2006 hasta la actualidad. Tres de estas estaciones se ubican en el embalse de Sabiñánigo, dos de ellas a cada orilla del embalse, aguas abajo y próximas a los emplazamientos de la fábrica de INQUINOSA y del vertedero de Sardas, y la otra en la cola del embalse.



Los resultados de estos análisis muestran presencia de HCH en los tres puntos de muestreo de sedimentos. Comparando los valores de HCH, las concentraciones más elevadas se registran en las muestras tomadas en el punto cercano a INQUINOSA. Las concentraciones de HCH medidas en la zona próxima al vertedero de Sardas y en cola del embalse son notablemente más bajas, siendo las de este último punto las menores. Las características composicionales de estas concentraciones se podrían utilizar para trazar los posibles orígenes de la contaminación en las aguas del embalse. Un análisis más detallado de esta información se encuentra en el Anejo XI.

3.3 Estabilidad y sellado del vertedero de Sardas

3.3.1 El vertedero como estructura de tierras por cuyo talud discurre una carretera

Ha de tenerse presente que el trazado de la carretera N-330 discurre sobre el talud del vertedero, el cual dista mucho de equipararse a una estructura de tierras seleccionadas y compactadas, y bien cimentada. El saneo realizado, a juicio del CEDEX, no impide un hipotético mecanismo de rotura profunda.

No obstante, no le consta al CEDEX que haya indicios de movimientos, fisuras en el pavimento o grietas en el entorno. Ya en su memoria anual de 2015, EMGRISA adjuntaba un informe geotécnico que aborda el cálculo de estabilidad de dicha estructura de tierras/residuos (Geoace, febr., 2016), que cifra el factor de seguridad en $FS=1,3$ suponiendo un nivel freático muy elevado, en un supuesto muy pesimista. La verosimilitud del cálculo de dicho informe es cuestionable, pues, al ser extremadamente difícil caracterizar debidamente los residuos en términos geotécnicos, el autor recurrió a correlaciones. No obstante, los siguientes factores son favorables a efectos de inestabilidad profunda de esta estructura:

- el talud del vertedero, que es moderadamente tendido (del orden de 3H:1V);
- y el hecho de que el fondo del vaso (cárcava) no se regularizara ni se dispusiera en él una lámina impermeable, que supone siempre una superficie de debilidad. No ha de olvidarse que las capas superficiales de cubrición del vertedero (PEAD+geotextil sobre terreno algo acondicionado), si no estuvieran debidamente ancladas en cabecera, especialmente si la geomembrana de PEAD fuera lisa, serían potencialmente inestables por la interfaz, aunque sus consecuencias no serían muy severas.

Por el contrario, hay otros tres factores adversos; a saber:

- la ínfima calidad del material vertido (residuos de diversa naturaleza);
- la presencia de un nivel piezométrico elevado y oscilante;
- existencia de fluidos “aceitosos” (DNAPL) hacia la base de los rellenos, que podrían penalizar la resistencia del terreno;

En consecuencia, aun no habiendo actualmente indicios, una eventual desestabilización profunda del talud del vertedero acarrearía consecuencias mucho más perniciosas (de índole medioambiental) que cualquier talud convencional, por exponer los residuos a la atmósfera. Por ello, se cree necesaria la instalación algún dispositivo de control, tales como inclinómetros, de un coste muy moderado, aspecto que se verá en el apartado de propuesta de trabajos futuros.



3.3.2 Sobre la pantalla de bentonita-cemento

Se trata de una pantalla que atraviesa los rellenos del vertedero, que en planta discurre junto a la cuneta de la carretera N-330, a lo largo de unos 80 m en sentido perpendicular a lo que en su día fue una cárcava. La información al respecto disponible por la CHE fue muy limitada, si bien se contó con la fortuna de que un documento citaba como referencia, al argumentar la resistencia a compresión simple de estos materiales mixtos, un artículo técnico sobre su ejecución (M.A. de Juan García, 8º Simposio Nacional de la SEMSIG, 2004, Valencia) de la empresa que ejecutó la pantalla (KRONSA), del cual se ha extraído información de extraordinario provecho. Recientemente (14 de septiembre de 2021), en la reunión multilateral convocada por la CHE, EMGRISA (J.Gómez y J. Gaudaño) expuso el alcance de sus indagaciones sobre la ejecución de la pantalla, con material gráfico de interés, con consistencia con lo recogido en el citado artículo técnico.

Dicho artículo señala que se trata de una pantalla de bentonita-cemento (el artículo aporta su dosificación), de entre 3 y 16 m de profundidad, de 50 cm de espesor y de 80 m de desarrollo en planta. Se ejecutó a lo largo del mes de julio y parte de agosto de 1995. Tiene la singularidad (muy inusual en este tipo de elementos, al menos en España) de que en el centro de la sección se dejó embebida una lámina (geomembrana) de PEAD en toda su profundidad, a base de paños de 2,45 m de ancho con juntas de ensamblaje entre ellas. Se comprende que dicho elemento le dota de una impermeabilidad total a su través, pero, como se expondrá, no en su base. La profundidad del sustrato quedó muy bien acotada en todo el desarrollo de la pantalla, pues se realizaron ensayos DPSH (ensayo de hinca de un varillaje, hasta interceptar el sustrato duro) cada 5 m.

Procede hacer las siguientes observaciones al respecto:

1. El artículo indica que *“la pantalla quedó empotrada en margas impermeables, con objeto de asegurar el cierre por la parte inferior”* y añade que *“el terreno superior está constituido fundamentalmente por aluviales, siendo de destacar la presencia de bolos de grandes dimensiones en varios bataches”*. No obstante lo anterior, hay gran consenso en la información facilitada en que los metros superiores de las margas están bastante fracturados, con lo que esa supuesta impermeabilidad es muy cuestionable. Es más, al cotejar la tabla de profundidades del rechazo de los ensayos DPSH con las profundidades de cada batache (ambas recogidas en el artículo), se concluye que la pantalla apenas profundizó más de la profundidad del rechazo de los DPSH. Nótese, además, que esa pantalla fue excavada con cuchara bivalva, capaz tan sólo de extraer rocas blandas meteorizadas (grados IV-V), con lo que resulta poco verosímil que el empotramiento fuera franco a efectos de garantizar la impermeabilidad, máxime si se establecen gradientes elevados (cociente entre el desnivel de agua, de varios metros entre ambos lados de la pantalla, y el trayecto recorrido a través de la roca fracturada, que estimamos en el rango de 1 m).
2. El CEDEX entiende que si se hubiera excavado la pantalla con hidrofresa (que ripa sin problemas rocas de resistencia moderada poco meteorizadas) se podría haber alcanzado un empotramiento mucho mayor, de varios metros, suficiente en términos de estanqueidad, resultando una pantalla eficaz, en tanto se lograra mantener el nivel de agua del vertedero por debajo del nivel de coronación de la pantalla. La necesidad de la hidrofresa, en lugar de una cuchara convencional, puede encontrarse en el apéndice V, redactado por Terratest Cimentaciones, del Anejo I de la memoria del “Proyecto de remediación del subsuelo de las parcelas al pie del vertedero de Sardas” de EMGRISA (abril de 2010).

3. Puede estimarse con moderada aproximación la permeabilidad del nivel de marga fracturada, sobre el que se apoya la pantalla. Así, solo se requiere estimar un espesor equivalente de este nivel, que se fijará en 4m, suponiendo que por debajo la marga está mucho menos fracturada, merced a lo cual se considera impermeable. Se sabe que el desnivel de la lámina de agua entre paramentos es de unos 4 m y que el caudal de filtración es del orden de 15 m³/día bajo los 80 m de longitud de la pantalla (~0,0022 l/s/m). Basta, pues, trazar a mano alzada la red de filtración bajo la pantalla (Figura 26), resultando 3 tubos de filtración con 4 saltos equipotenciales de $h=1$ mca cada uno, con lo que el coeficiente de permeabilidad sería de $k=7 \times 10^{-7}$ m/s, propio de un material algo permeable. Como lo que mayoritariamente afluye es agua, se trataría del coeficiente de permeabilidad relativa del agua, en presencia de NAPL, el cual obtura parcialmente la red de filtración. Como se ve, conviene tener presentes los conceptos de flujos multifásicos.

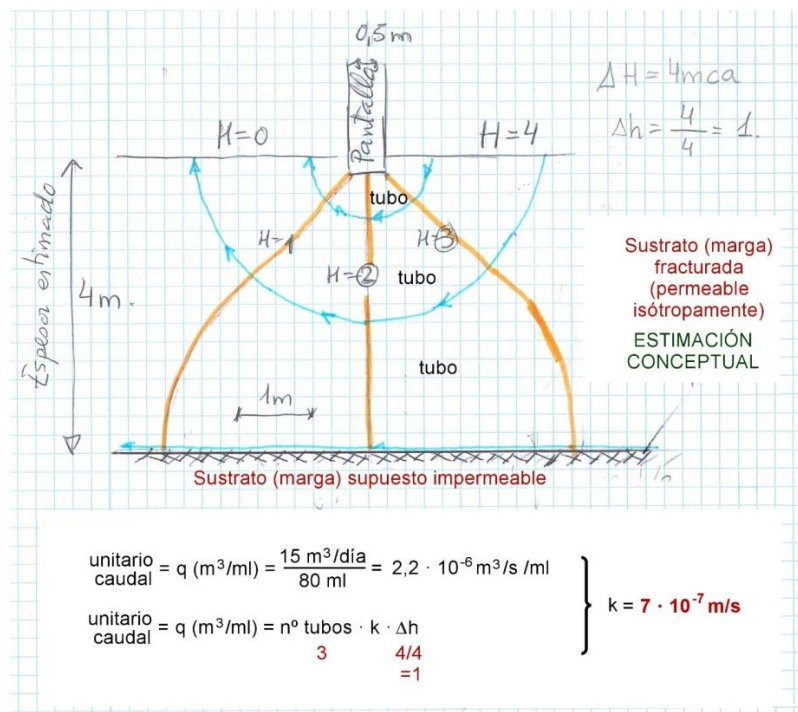


Figura 26. Estimación conceptual de la red de filtración por debajo de la pantalla de bentonita-cemento

4. Se comprende que el efecto barrera de la pantalla dio lugar a la elevación paulatina del nivel freático en el vertedero hasta alcanzar un equilibrio entre los aportes de las aguas subterráneas, los bombeos y los flujos bajo la pantalla. Con la información disponible, el CEDEX cree que el sellado superficial del vertedero (cobertera de suelo+geomembrana+geotextil) impide la percolación de las aguas de lluvia. En cuanto a los muretes perimetrales enterrados, que parece que se concibieron fundamentalmente para impedir la infiltración de las aguas subsuperficiales, suscitan las mismas dudas que la pantalla en cuanto a lograr la impermeabilidad bajo su base. Con todo, como los gradientes en el entorno de los muros enterrados son mucho menos severos que bajo la pantalla, parece que serán más eficaces frente a entradas de agua.



5. Como quiera que el nivel medido de agua en el interior del vertedero ha sido claramente inferior a la cota de coronación de la pantalla, al menos desde que comenzaron los bombeos de achique, los eventuales caudales que pudieran “escaparse” por los extremos de la pantalla (en su encuentro con los muretes perimetrales enterrados) serían irrelevantes, en relación al caudal total bajo la base de la pantalla.
6. Es un hecho relevante que la pantalla se construyó en el seno de unos materiales preexistentes (residuos en gran medida) metaestables y evolutivos, en el sentido de estar sueltos, no compactados, susceptibles de densificarse por lubricación/colapso al elevarse la lámina de agua, y expuestos a degradación química, volatilización, etc. Si bien parte de estos procesos se debieron de ir dando desde su vertido en las décadas precedentes, no se descarta que estén activos, máxime si aún se efectúan bombeos. Todo ello ha de tener repercusiones de índole mecánica sobre la pantalla, que se exponen a continuación.
7. Los efectos más fáciles de cuantificar son los empujes horizontales generados por la presión del agua en el vertedero sobre la pantalla, muy superiores a los existentes al otro lado de la misma, inexistentes unos y otros al finalizar la construcción de la pantalla. Es previsible que toda la masa de residuos, por hallarse a media ladera, esté experimentando leves movimientos de reptación o de acomodo, de difícil valoración. Si la pantalla de bentonita-cemento hubiera estado perfectamente empotrada en un nivel sano de marga, trabajaría a modo de ménsula, y probablemente estaría fracturada justo en su empotramiento a causa de los empujes netos de los residuos y del agua. Aunque se omite el cálculo, es sencillo comprobar que las flexiones generadas por esta descompensación de presiones en la pantalla (siempre en la hipótesis descartada de empotramiento perfecto) generaría unas tracciones en paramento de aguas arriba de la pantalla superiores a la resistencia esperable en este material (del orden de 1/10 de su resistencia a compresión, cifrable ésta entre 250 y 750 kPa). En este caso, como ya se ha razonado que la pantalla apenas pudo empotrarse, la descompensación de presiones a uno y otro lado de la pantalla tendrá consecuencias más leves, con lo que parece menos probable su fisuración. Se comprueba, pues, que la lámina (geomembrana de PEAD) embebida en la pantalla es clave para garantizar la total estanqueidad del paramento de la pantalla.
8. Conceptualmente, a efectos de remediación, interesa, tanto o incluso más, impedir la afluencia de agua (que es el mayor agente movilizador de la pluma de contaminación) en la cabecera del vertedero, que retenerla o drenarla en su pie, si no es de forma controlada. Lo antedicho es, a juicio del CEDEX, primordial. En ese sentido, el CEDEX comparte el planteamiento de sellado perimetral mediante una pantalla con hidrofresa, en los términos recogidos en el “Estudio de alternativas técnicas para solucionar la problemática ambiental del vertedero de Sardas” (EMGRISA-IDOM, de octubre de 2011). Se advierte, no obstante que convendría valorar si resultaría más económica una pantalla de hormigón convencional, cuyo control de ejecución y equipos auxiliares siempre son más sencillos. Además, el hormigón es más impermeable y más resistente, a tracción y a compresión, que la mezcla bentonita-cemento. La alternativa de drenaje pasivo controlado y tratamiento de los residuos líquidos captados aguas arriba de la pantalla y antes de su exposición a la atmósfera no es incompatible con esta solución. Estas soluciones eliminarían las surgencias no controladas al pie del talud que comprometen la calidad del agua y del aire en la zona. Estas propuestas se tratarán en el capítulo 6.



4 DIAGNÓSTICO

Una vez expuestos los datos disponibles, el tratamiento dado a los mismos en forma de base de datos y SIG, y descrito el sistema sobre el que se va a centrar este trabajo, en los apartados siguientes se describen los episodios de contaminación por isómeros de HCH observados en las aguas del embalse de Sabiñánigo que se han seleccionado para su estudio, y se exponen y evalúan los escenarios, hipótesis o modelos conceptuales de movilización de contaminantes que se han postulado para su interpretación.

El análisis de la afección de la contaminación por HCH al embalse de Sabiñánigo en su conjunto, se ha considerado desde dos puntos de vista, cualitativo y cuantitativo, en función de la información disponible según la Figura 23.

En el análisis cualitativo se ha tenido en cuenta la variación de la concentración de esos contaminantes en las aguas, observándose diferentes episodios de contaminación frente a otros períodos de concentración por debajo del Límite Inferior de Detección (LID), de modo que:

- Los valores esenciales proceden del punto de muestreo del CHS ya que es la única salida controlada analíticamente del embalse, si bien la serie de la que se ha dispuesto en este punto es relativamente corta, 2016 a 2021.
- Por ello, también se ha considerado la información del punto de muestreo del embalse de Jabarrella, de la que se ha dispuesto de datos desde 2008 a 2019. Un análisis más detallado de los datos de este punto y la comparativa con los del CHS se verá en el apartado 4.2.4.
- La mayoría de los años, desde 2008 a 2021, se ha observado algún episodio de contaminación, de diferente duración y diferente concentración máxima, pero casi todos se han producido en meses cálidos, en primavera y verano. Sólo entre los años 2012 y 2013 se han detectado incrementos de concentración de HCH en meses más fríos, esencialmente en diciembre-enero.
- La interpretación que puede hacerse con estas observaciones sobre cuándo se iniciaron los episodios estacionales de contaminación en el embalse de Sabiñánigo y si ha finalizado su impacto, está limitada porque la información que aporta la estación de Jabarrella está afectada por la posible contaminación procedente del contexto del vertedero de Bailín. Por otro lado, la importancia de alguno de los episodios detectados puede estar enmascarada si se han producido en épocas de caudal elevado, con lo que las concentraciones pueden ser bajas, incluso estar bajo los límites de cuantificación.

Por ello se ha realizado también un análisis cuantitativo mediante la estimación del flujo másico de contaminantes. En este caso, es necesario contar con los datos de caudal circulante en el momento del muestreo, aunque, para los puntos con mayor información analítica, CHS y embalse de Jabarrella, solo se ha podido contar con valores medios diarios y el cálculo se ha realizado mediante aproximaciones.

4.1 Selección de episodios de contaminación por isómeros de HCH a las aguas del embalse de Sabiñánigo

La información con la que se ha trabajado para identificar los episodios de contaminación del río Gállego en el embalse de Sabiñánigo ha sido generada por los equipos técnicos de la CHE y el GA, cuya experiencia avala los datos de concentración de isómeros de HCH medida en el río. La correlación observada en general



entre los datos de los laboratorios de ambas instituciones muestra que estos episodios no son atribuibles a artificios en el muestreo o el análisis. Sí debe tenerse en cuenta, para la correcta interpretación de estos datos, que el LID y el número de isómeros analizados han cambiado con el tiempo en ambos laboratorios.

Con objeto de acotar el alcance de los trabajos a desarrollar en este encargo y optimizar al máximo el cumplimiento del objetivo previsto, el estudio se ha centrado en aquellos episodios de contaminación por isómeros de HCH que se han observado en el río Gállego que tienen su origen de forma incuestionable aguas arriba de la presa de Sabiñánigo. Estos episodios corresponden a los detectados en el punto de muestreo de la calidad del agua CAUCE-RG04 del GA operativo en el CHS.

Habría sido de interés disponer, además, de datos de aforo y calidad del agua aguas abajo de esta presa en el propio río Gállego, antes de cualquier aportación lateral de aguas superficiales o subterráneas que pudieran aportar estos contaminantes, en concreto el barranco de Bailín y las formaciones de conglomerados del Eoceno superior de su cuenca. Además, idealmente y con objeto de evitar errores en los balances de masa por otras aportaciones de caudal, este punto debería situarse aguas arriba de la confluencia con el río Basa y de la entrada del caudal procedente de la depuradora de Sabiñánigo. No obstante, en base a los datos de la estación de aforos de río Gállego 9319, ubicada aguas arriba de la confluencia con el barranco de Bailín, puede garantizarse que los caudales y los datos de calidad del CHS son suficientemente representativos.

Se han analizado también las series de la estación del embalse de Jabarrella desde 2008, que sumarían la posible afección de estos otros aportes laterales, pero únicamente en cuanto a la ayuda que dan para confirmar los episodios ocurridos en el embalse de Sabiñánigo y detectar aportaciones adicionales. También son interesantes para tratar de realizar una interpretación común a la hora de buscar la posible correlación de unos y otros episodios con los mismos parámetros atmosféricos, como son la temperatura del aire, que condiciona la temperatura de los suelos y del agua superficial y subterránea, o la cantidad e intensidad de precipitación.

El embalse de Jabarrella es el principal punto de muestreo que usa como referencia la CHE, ya que ha sido un punto de control de la red de sustancias peligrosas en el río Gállego desde principios de la década de 1990. El muestreo y análisis en este punto empezó siendo mensual, para pasar a semanal o diario desde 2008 tras la instalación de un muestreador automático y convertirse en estación de alerta de la red SAICA. Este punto está incluido también por el gobierno de Aragón entre las estaciones de muestreo en embalses para la evaluación y seguimiento del estado ecológico del río Gállego y sus afluentes (Informe de estado ecológico del Gobierno de Aragón de 2019). Por su ubicación, la causa de varios de los episodios detectados en este punto de muestreo ha sido relacionada con operaciones de restauración de las aguas y terrenos afectados por el vertedero de Bailín. Estas operaciones habrían motivado la llegada de contaminantes disueltos en las aguas superficiales del arroyo del Paco o en las aguas subterráneas de su cuenca. Los caudales asociados a este punto corresponderían a la integración de los de la estación de Sabiñánigo (9319), CHS (CH46) y barranco de Bailín (A312).

Una vez elegidas las estaciones de aforo y los puntos de muestreo de referencia, el estudio se ha centrado en los episodios identificados en los años 2017, 2018 y 2019, para los que las series de datos de las estaciones seleccionadas son más completas y comparables (Figura 23). En primer lugar, en 2016 empieza la serie de calidad del GA en el CHS, pero no se detectó ningún episodio de contaminación. Sin embargo, en este año, en el embalse de Jabarrella (medido por la CHE) sí se observó un episodio estival, aunque con

concentraciones bajas. Aunque esa diferencia podría ser debida a la afección a Jabarrella del Barranco de Bailín, también podría ser debida al diferente límite de cuantificación en 2016 de los laboratorios que realizaron las analíticas, 0.02 µg/l para el del GA y 0.005 µg/l para el de la CHE. En segundo lugar, 2019 es el año del que se dispone de los últimos datos de caudal, si bien la información de parámetros de calidad como la concentración de HCH se extiende hasta el verano de 2021 (Figura 27). De hecho, tanto en el verano de 2020 como en el de 2021 se detectan episodios de contaminación en esta estación. La inclusión de información adicional de períodos anteriores, obtenida del sistema de vigilancia y alerta temprana para garantizar la calidad de las aguas de consumo humano y de riego aguas abajo del vertedero de Bailín, complicaría su interpretación como ya se ha comentado.

Es importante resaltar que este sistema de alerta está operativo desde la afección al río Gállego que tuvo lugar en el verano de 2014 asociada a varios eventos de tormenta que ocurrieron durante el traslado del antiguo vertedero de Bailín a la nueva celda de seguridad. Esta afección a la calidad de las aguas del río Gállego, muy apreciable en los datos analíticos del embalse de Jabarrella, como se verá más adelante, se detectó hasta su desembocadura en el río Ebro y motivó el corte de suministro de agua de consumo humano en varias localidades aguas abajo de Bailín y la entrada de agua del Gállego al embalse de La Sotonera, que aporta agua a los regadíos del Alto Aragón y otros aguas abajo. Desde entonces, se procede al muestreo y análisis diario de las aguas superficiales en el embalse de Jabarrella y, con menor frecuencia, hasta Villanueva de Gállego, además de aguas de embalses y canales, y se han dispuesto depuradoras de carbón activo en los núcleos urbanos ubicados aguas abajo de este vertedero.

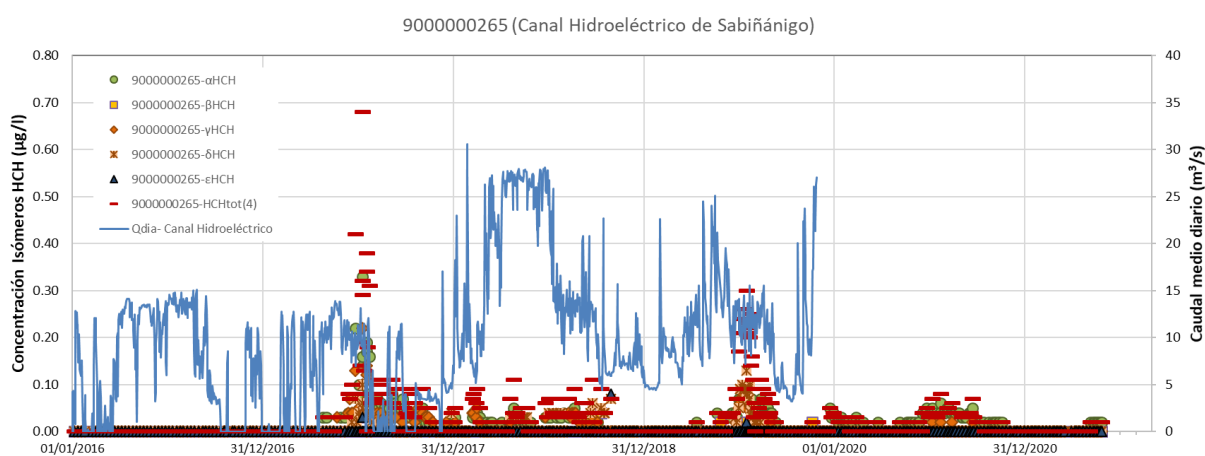


Figura 27: Concentración de HCH y caudal diario medidos en el CHS (período 2016-2021)

En el período seleccionado, se han detectado varios episodios de contaminación en las aguas del río Gállego, tanto en la estación del CHS como en Jabarrella, sobre los que se ha propuesto realizar el siguiente análisis:

- La identificación y cuantificación de los episodios se aborda atendiendo no sólo a los valores de concentración de isómeros de HCH sino también al flujo de masa, calculado como producto de esta concentración por el caudal circulante.
- Se deberá tener en cuenta la distribución temporal de estos episodios, tanto en su tamaño (concentración, cantidad de masa implicada y duración alcanzada) como en cuanto a su forma de ascenso y descenso, por cuanto puedan ayudar a su interpretación.

- Se ha intentado realizar una discriminación de HCH en sus isómeros que puede ayudar a identificar el origen de la contaminación, por la presencia de unos u otros en función de la composición original de los vertidos en cada punto y vertedero, y del diferente tiempo y procesos de transporte y degradación que les hayan podido afectar.

4.2 Análisis de los episodios de contaminación por HCH de las aguas del embalse de Sabiñánigo

4.2.1 Estimación del flujo de masa de HCH en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo

En la Figura 28 se muestra el primer resultado de considerar el flujo de masa, calculado como producto de esta concentración por el caudal circulante, en lugar de la concentración. Se pone así en evidencia la existencia de un aporte extraordinario de HCH a las aguas del embalse de Sabiñánigo en 2018, de un orden de magnitud similar a los de los años 2017 y 2019, que ya eran evidentes atendiendo a los valores de concentración.

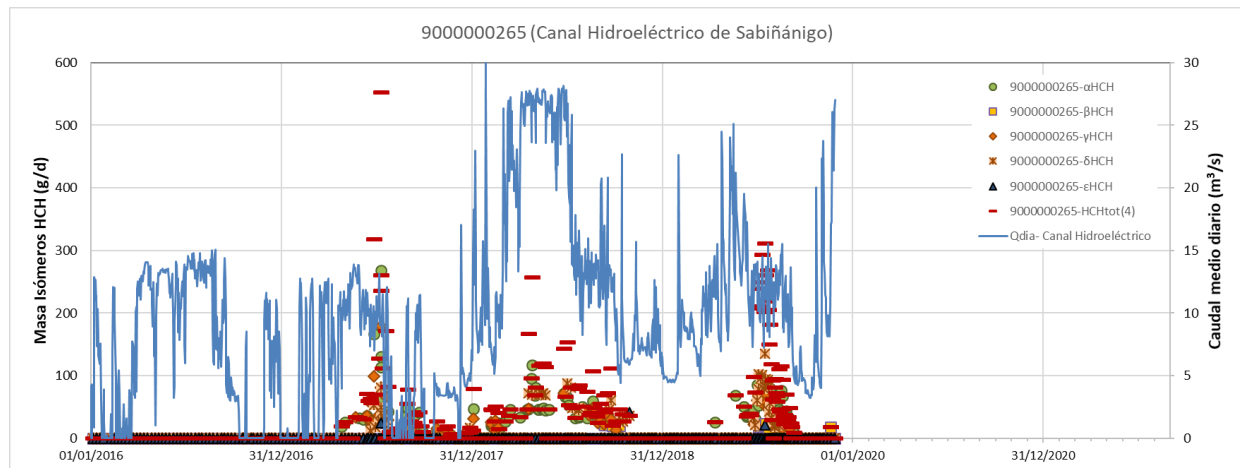


Figura 28. Flujo de masa de HCH y caudal diario medidos en el CHS (período 2016-2019)

El efecto que tiene el mayor caudal circulante por el río en 2018, en comparación con los años 2017 y 2019, se observa más claramente en la Figura 29, donde se ve que la masa total acumulada de HCH que ha circulado por el CHS en 2018 es de unos 12 kg, mayor que los 8 kg que circularon en 2017 y que los 11 kg que lo hicieron en 2019.

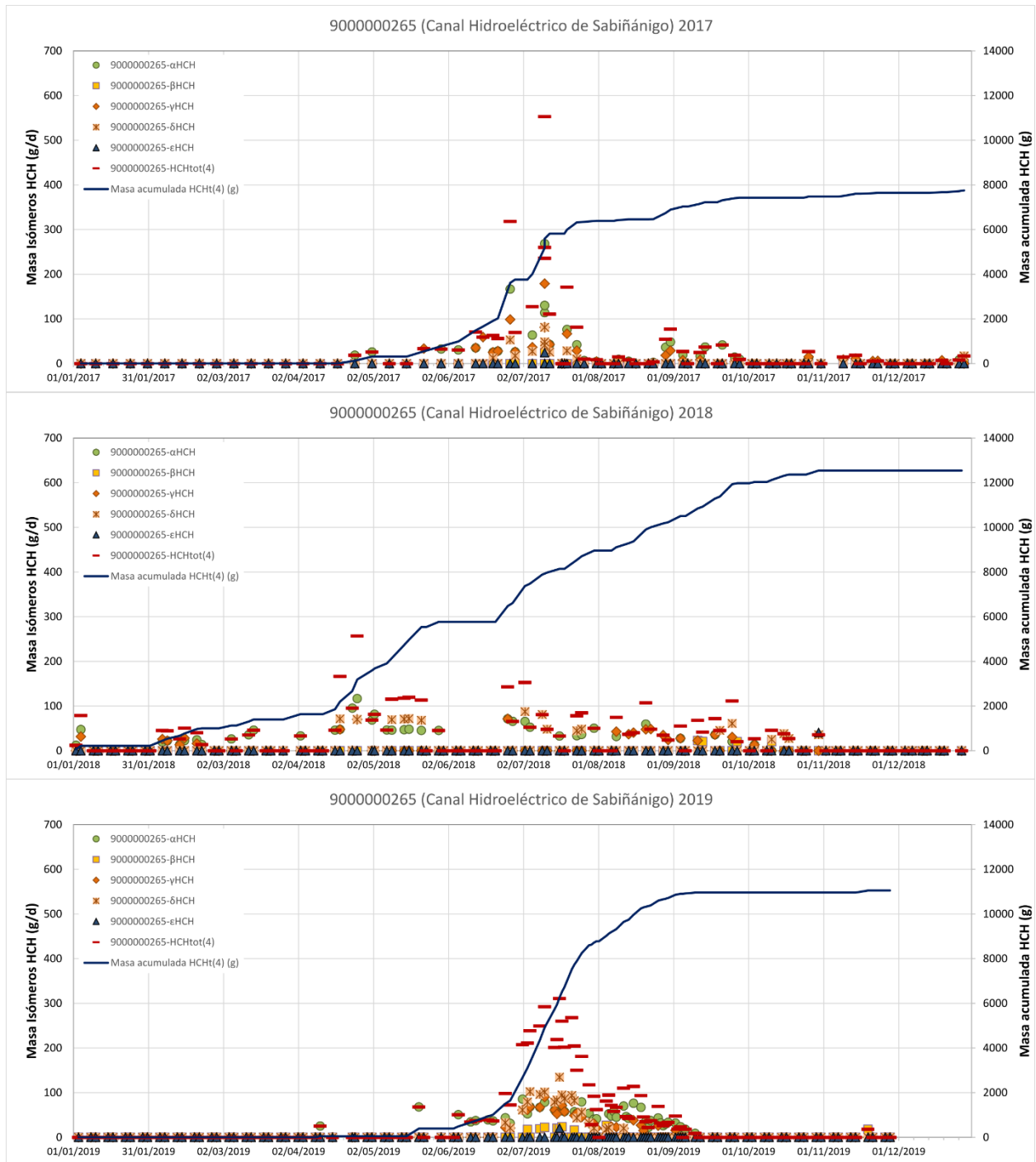


Figura 29. Masa acumulada de HCH circulante en los años 2017, 2018 y 2019 por el CHS

4.2.2 Correlación del flujo de masa de HCH con parámetros atmosféricos

En cuanto a la forma de los picos, en la Figura 29 se aprecia que son más acentuados y tienen una rampa de ascenso y de descenso mejor definida en los años 2017 y 2019 que en 2018. Los picos de 2017 y 2019 se concentran en los meses de junio y agosto, mientras que el de 2018 se extiende entre los meses de abril

y octubre. En un primer análisis, parece que la mayor cantidad de precipitación caída entre marzo y junio de 2018 activa antes, y desactiva después, el proceso que da lugar al episodio de este año en comparación con lo que ocurre en 2017 y 2019, al tiempo que diluye su efecto.

El análisis de la distribución de la precipitación en estos tres años (Figura 30 y Figura 31), sin embargo, no permite ver ninguna relación entre esta variable y la concentración de HCH, salvo el ya mencionado. En los tres años ha habido eventos de precipitación antes, durante o después de los episodios observados, pero sin ninguna correlación con el inicio del ascenso pico ni con su máximo ni con su descenso.

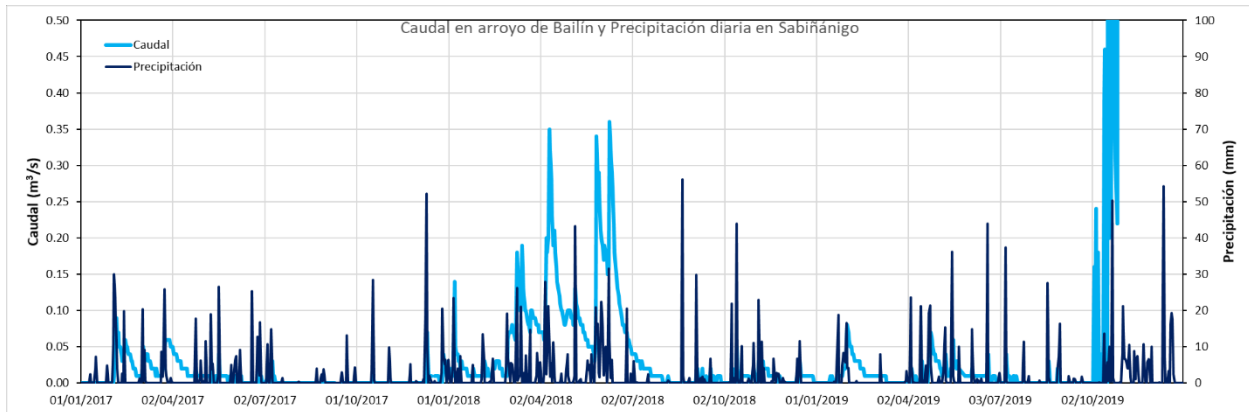


Figura 30 Caudales registrados en el arroyo de Bailín y precipitación diaria en la estación de Sabiñánigo.

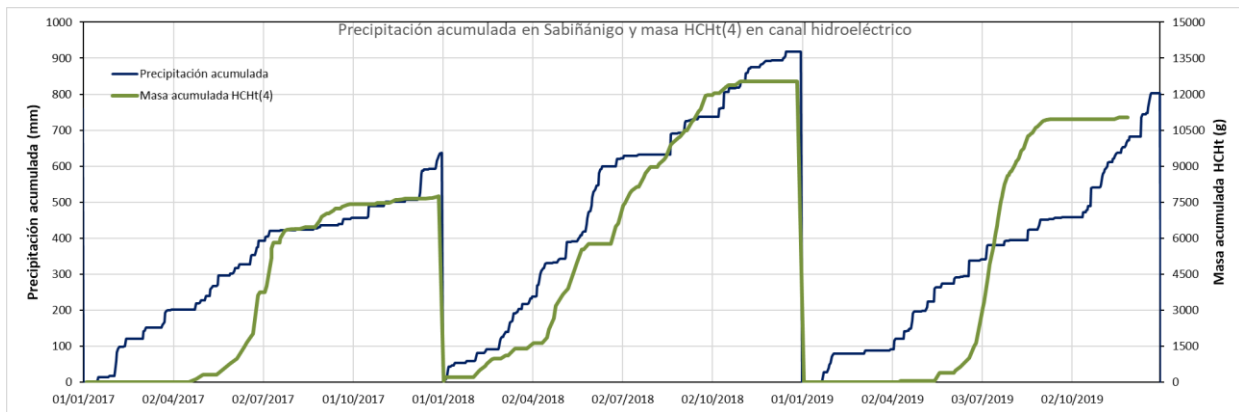


Figura 31. Precipitación acumulada en la estación meteorológica de Sabiñánigo y flujo de masa acumulada anual de HCH circulante por el CHS

En la Figura 30 y la Figura 32 se observa que la mayor precipitación ocurrida en 2018 dio lugar al mantenimiento del nivel del agua en el embalse en su cota máxima sin oscilaciones durante los meses de abril, mayo y junio: En un primer análisis, se pensó que esta constancia del nivel del agua en el embalse podría haber frenado el flujo y la salida de agua subterránea contaminada por el vertedero de Sardas hacia el río desde la ribera izquierda, lo que explicaría la menor concentración de HCH detectada en las aguas del CHS, que se observó en la Figura 27. Sin embargo, el cálculo del flujo de masa ha puesto de manifiesto que la cantidad de masa de contaminante ha llegado antes al río y ha sido incluso mayor ese año. Durante los episodios de 2017 y 2019, las oscilaciones del nivel del agua del embalse son tan similares

que no parecen tener ninguna influencia en la masa de HCH que pasa a las aguas del CHS, como se observa en la Figura 32. Sin embargo, como se comentó en el apartado sobre la descripción de las oscilaciones de los niveles del agua del embalse, sí se observa la coincidencia de los períodos de menor oscilación del nivel del agua del embalse en otoño con el descenso de las concentraciones de HCH en los episodios de contaminación de estos tres años.

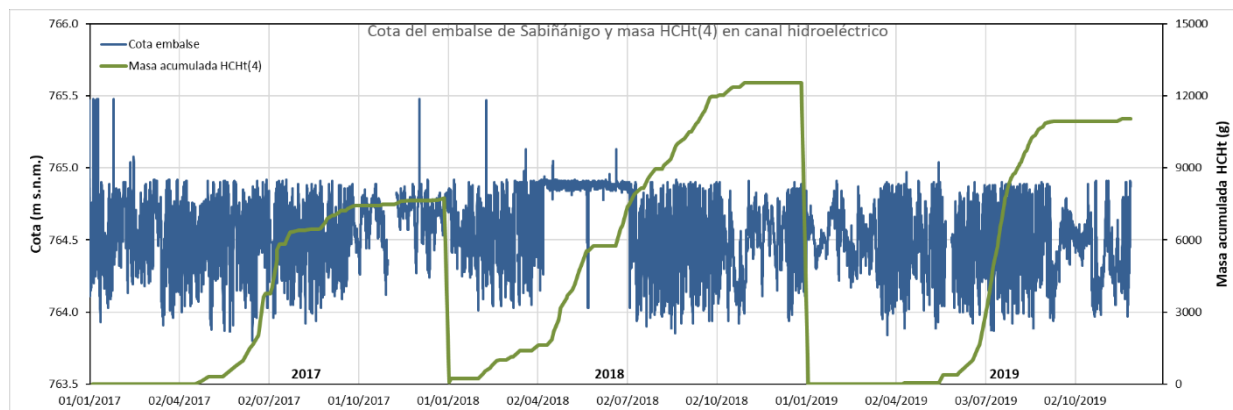


Figura 32. Cota del nivel del agua en el embalse de Sabiñánigo y flujo de masa acumulada anual de HCH circulante por el CHS

Estudiando en mayor detalle el momento en que se producen los picos de flujo de masa de HCH, se pone de manifiesto que, en el período seleccionado, todos ellos tienen lugar entre primavera y verano, entre abril y septiembre, período caracterizado por mayores temperaturas (Figura 33).

Esta observación sugiere que las condiciones más cálidas pueden tener también un efecto importante a la hora de activar o acentuar el proceso o los procesos que movilizan HCH hacia las aguas del embalse y de desactivarlo después. La temperatura tiene un efecto importante en la solubilidad de los isómeros de HCH (Anejo IX) que se ha estudiado en los últimos años en los informes de seguimiento hidrogeológico del GA. En ellos se ha medido la temperatura en el agua del embalse y en el acuífero en varios sondeos, observándose que el contraste de temperatura entre verano e invierno en las aguas del acuífero es de unos 3°C y que su evolución está desfasada varios meses con relación a la del agua superficial. Esta variabilidad es baja para explicar un efecto tan marcado como el que se observa en los episodios de contaminación del agua del embalse. Por tanto, debe pensarse en otro compartimento ambiental en el que el contraste de temperatura entre invierno y verano pueda ser mayor, como los suelos de la llanura de inundación o de los limos y rellenos de la parcela al pie del vertedero. En estas formaciones se puede dar, además el efecto combinado de la temperatura con el de la mayor sequedad y agrietamiento del suelo, aunque sea de modo intermitente, en cada oscilación del nivel del agua del embalse, una situación que puede favorecer el lavado de contaminantes por estas aguas.

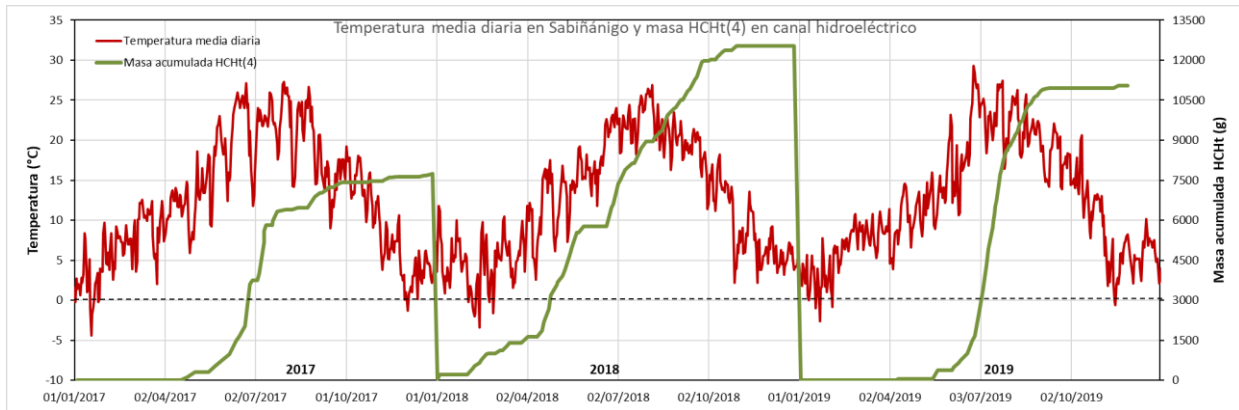


Figura 33. Temperatura media diaria del aire en la estación de Sabiñánigo y flujo de masa acumulada anual de HCH circulante por el CHS

4.2.3 Caracterización de isómeros en los episodios de contaminación

Como se indicó anteriormente, además de la evolución del contenido total de HCH en estos episodios también se ha analizado el contenido individual de cada uno de sus isómeros, expresado en porcentaje respecto a la concentración total de HCH. Como se observa en la Figura 34, el período de 2017 a 2019 se puede dividir en varios tramos temporales, en los que se distinguen los meses de otoño-invierno en los que la concentración de HCH está por debajo del LID o se detecta casi sólo el isómero α -HCH con valores de concentración bajos, y los meses de primavera-verano en los que se producen los episodios de mayor concentración total de HCH y en los que se ven implicados todos los isómeros, especialmente en sus momentos centrales, en los únicos en los que se identifican los isómeros β -HCH y ϵ -HCH. Esta observación constituye uno de los aspectos más importantes para entender el proceso de lixiviación que incorpora HCH a las aguas del río Gállego ya que revela que, durante los episodios de mayor contaminación, este proceso es capaz de movilizar todos los isómeros, algo que no ocurre durante el resto del año.

Una segunda observación de interés es que es necesario postular, también, una diferente velocidad o intensidad de lixiviación de los isómeros en el orden de aparición observado en las aguas del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo: α -HCH, γ -HCH, δ -HCH, β -HCH y ϵ -HCH. Este orden, pero en sentido inverso, es respetado en la forma de desaparición de estos isómeros en las aguas del canal en los tres episodios estudiados, aunque afecta sólo a los isómeros α -HCH y γ -HCH en 2020 (Figura 34).

La primera observación mueve a buscar posibles focos de contaminación en los que estos isómeros se encuentren en la misma proporción que se observa durante los máximos observados en el agua del CHS. La comparación que puede hacerse con posibles focos tiene un valor relativo, dado que los procesos que afectan a la distribución y evolución de cada uno de estos isómeros en los diferentes compartimentos del medioambiente pueden haber modificado notablemente esta huella de origen. No obstante, puede tener interés para descartar algunos focos en los que no se detecta presencia de alguno de los isómeros detectados en las aguas del CHS. Se ha realizado una comparación preliminar con los vertidos de la depuradora de Sardas y con los vertidos de INQUINOSA (Figura 35) que pueden estar concentrados en orillas opuestas del embalse. Salvando el hecho de que los análisis no son completos para todos los isómeros hasta fechas recientes, por faltar la medida de la concentración del isómero ϵ -HCH, cualquiera de estos dos focos podría explicar los contenidos de isómeros de HCH durante los episodios de mayor

concentración observados en el CHS, y siempre teniendo en cuenta que los datos de los vertidos de INQUINOSA proceden de la época de funcionamiento de la fábrica (1989 y 1990) y que los de la depuradora del vertedero de Sardas son recientes.

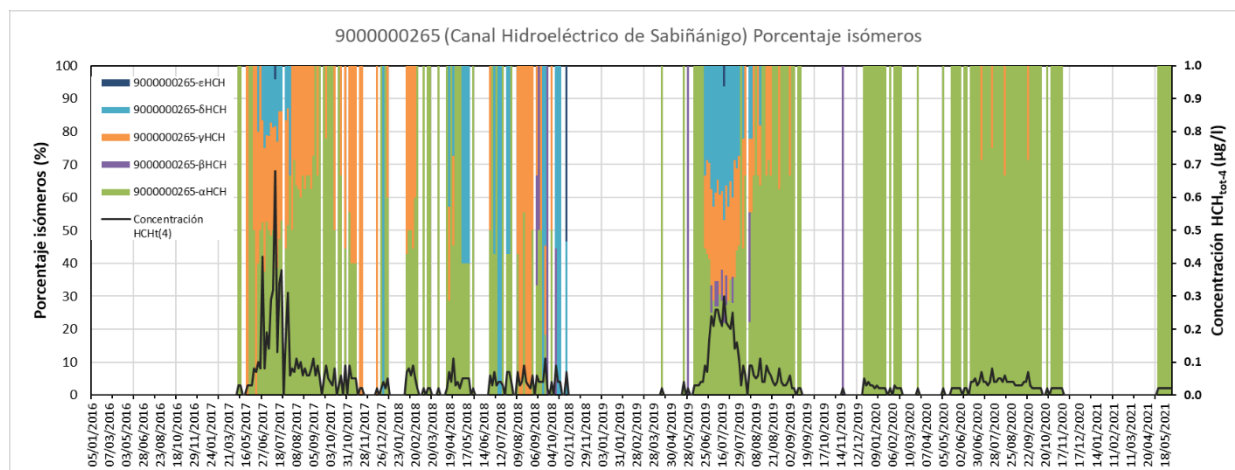


Figura 34. Porcentaje de isómeros de HCH respecto a la concentración total de HCH medido en el CHS

En cuanto a otros posibles focos que se puedan considerar en esta zona por su proximidad a las aguas del embalse, se ha revisado la información de los estudios previos y, aunque debe ser tomada con precaución para asignar el origen de la contaminación de las aguas del embalse de Sabiñánigo, dada la gran variabilidad que se ha observado en la mayor parte de estos posibles focos, puede tener interés para considerar preferentemente algunos de ellos en una primera aproximación.

La composición de la fase libre del vertedero de Sardas tiene una mayor proporción de los isómeros γ -HCH y β -HCH (35% cada uno de ellos), seguidos de los isómeros α -HCH (15%) y ϵ -HCH (10%). En las aguas del acuífero afectadas por los lixiviados del vertedero de Sardas son predominantes los isómeros γ -HCH y δ -HCH (50%), siendo mucho menor la proporción de los isómeros α -HCH y ϵ -HCH (5% cada uno de ellos). Los limos de la terraza al pie del vertedero tienen una mayor proporción del isómero γ -HCH (50%), seguidos de los isómeros α -HCH y δ -HCH (20% cada uno de ellos). Los rellenos presentan una mayor proporción de los isómeros α -HCH y γ -HCH (40% cada uno de ellos), seguidos del isómero δ -HCH (15%) (EMGRISA, 2021). Estos valores son algo diferentes en los análisis de las calicatas (EMGRISA, 2010), en los que el isómero claramente predominante es el isómero α , con proporciones muy variables de los isómeros β -HCH, δ -HCH y γ -HCH. Los sedimentos de colmatación del embalse muestran una proporción del 30% para cada uno de los isómeros α -HCH, β -HCH y γ -HCH, similar para las dos márgenes durante el período 2010-2015, según los datos del seguimiento del estado ecológico del GA. En el periodo 2016-2020 se detecta un cambio significativo en los resultados de las muestras de la margen derecha del embalse próxima a la fábrica de INQUINOSA y los isómeros ϵ -HCH y β -HCH pasan a tener una proporción claramente predominante, mientras que no se observa este cambio en las muestras de sedimentos en la margen izquierda próxima al vertedero de Sardas. En las figuras A11.4 y A11.5 del Anejo XI, con datos anuales, se aprecia que en el brazo de INQUINOSA los porcentajes de isómeros en agua y sedimentos de colmatación son diferentes, y que estos últimos han cambiado con el tiempo.

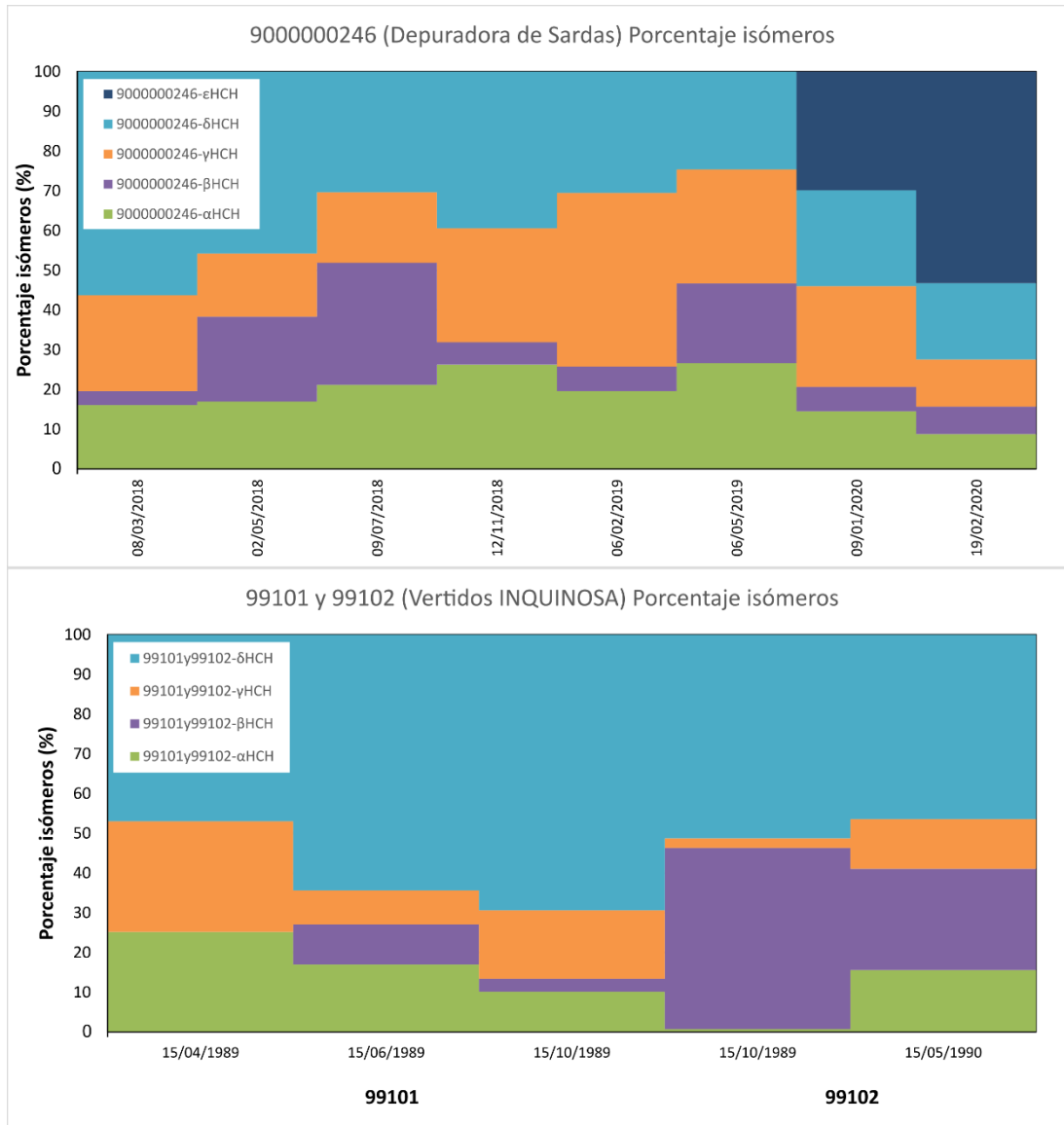


Figura 35. Porcentaje de isómeros de HCH respecto a la concentración total de HCH medido en los vertidos de Sardas y de INQUINOSA

Según esta información, los rellenos y los limos de la terraza al pie del vertedero serían el compartimento cuya composición, mayoritaria en los isómeros α-HCH, γ-HC y δ-HCH, mejor coincide con la observada en las aguas del CHS. El resto de compartimentos muestran una baja presencia de algunos de estos tres isómeros, que son predominantes en los episodios de contaminación estudiados.

Un factor adicional a considerar es la solubilidad de cada isómero, que tiene el siguiente orden, de mayor a menor, para los diferentes isómeros: δ-HCH>γ-HCH>α-HCH>β-HCH. Una consideración relevante es que la mezcla de los factores “abundancia de isómeros” y “solubilidad” puede explicar el orden de abundancia α-HCH, γ-HCH, δ-HCH, encontrado en el agua del CHS (Figura 34), recurriendo a la composición típica del producto comercial de HCH técnico, que es 60-70% de α-HCH, 5-12% de β-HCH, 10-12% de γ-HCH, 6-10% de δ-HCH, y 3-4% de ε-HCH (Willet et al., 1998 en EMGRISA, 2020), en comparación con el insecticida “lindano” que contiene más del 99,9% de γ-HCH. De hecho, las tasas de lixiviación de isómeros de HCH en



parcelas agrícolas tratadas por la mezcla técnica de lindano van en el orden α -HCH > γ -HCH > δ -HCH > β -HCH. Otra consideración relevante en este sentido es que la menor persistencia a la degradación microbiana y mayor volatilidad de los isómeros α -HCH y γ -HCH se utiliza para considerar que su presencia indica probablemente un transporte desde larga distancia desde una fuente lejana, en comparación con la presencia del isómero β -HCH, que se considera indicativa de una fuente local de contaminación de HCH.

Estas observaciones se tendrán en cuenta a la hora de postular y evaluar hipótesis sobre el posible origen de la contaminación de HCH observada en el CHS. Los resultados de los estudios de lixiviación y remediación realizados hasta la fecha por el Gobierno de Aragón pueden ayudar a evaluar estas hipótesis sobre el origen y el modo de incorporación de HCH a estas aguas.

Como información adicional relevante para el objetivo de este trabajo se deberían revisar los datos, no solo sobre la concentración relativa de isómeros de HCH, sino también de otros contaminantes y posibles trazadores, para tratar de determinar si se puede identificar una huella distinta para cada uno de los distintos focos posibles y servir para discriminar la procedencia de la contaminación del agua del río Gállego. Esta información se podría contrastar con la caracterización de la contaminación del agua del embalse para tratar de atribuirla de forma incuestionable a un origen u otro en este entorno.

4.2.4 Comparativa de los episodios de contaminación en Sabiñánigo y Jabarrella

Como se avanzó en el apartado de Selección de episodios, se pretendía comparar la situación encontrada en el embalse, analizada a partir de los datos obtenidos del CHS, con la que se detecta en el punto de muestreo de Jabarrella. En la Figura 36 se representa, para el período 2008-2020, la concentración de HCH medida y el caudal diario compuesto en el río Gállego en la estación de Jabarrella. Como se observa, la serie es más larga y más completa y admitiría un estudio más completo sobre un mayor número de episodios, concentrados casi todos los años en la época de mayor temperatura, pero también más complejo que el que puede hacerse en la serie del CHS. Un ejemplo claro de la mayor complejidad del análisis de esta serie de información está en el episodio más importante de contaminación originado en los últimos años en esta cuenca, en 2014, asociado a eventos de tormenta ocurridos durante el traslado del antiguo vertedero de Bailín, que se identifica claramente en esta figura. La interpretación de episodios como este de 2014, originados en el barranco de Bailín, no tiene interés para el objetivo de este encargo y su presencia puede ocultar episodios que sí la pueden tener. Por este motivo, el estudio sobre las series de información de Jabarrella se ha realizado sobre los mismos episodios seleccionados para el CHS.

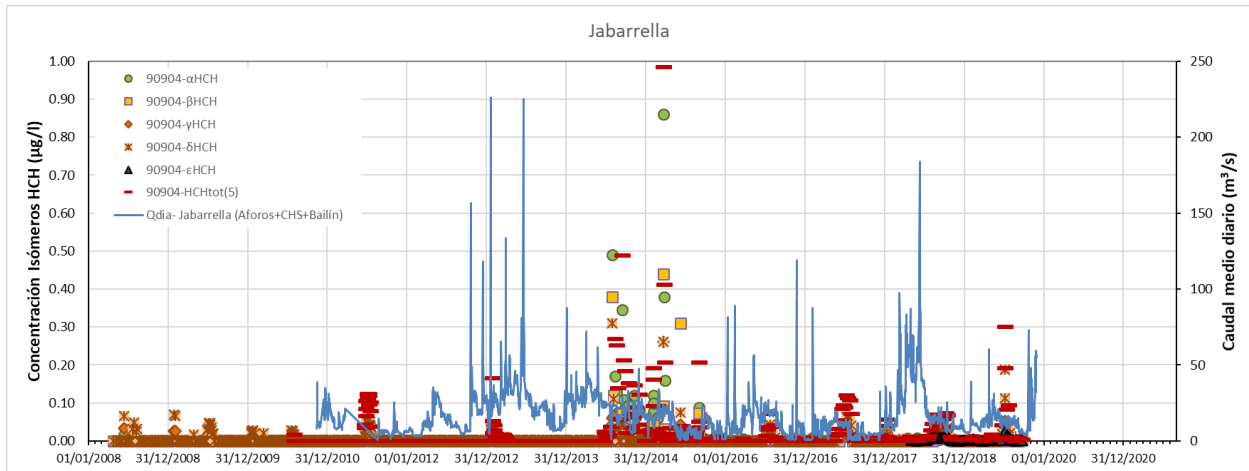


Figura 36. Concentración de HCH y caudal diario medidos en el río Gállego en la estación de Jabarrella (período 2008-2019).
NOTA: No se representan los valores máximos de más de 9 µg/L que se alcanzaron en 2014 y 2015 por facilitar la visualización del resto de episodios.

De la Figura 37 a la Figura 42 se presenta el resultado del análisis realizado sobre la serie de caudales, concentración de HCH y masa acumulada circulante de HCH en la estación Jabarrella para los años 2017 a 2019. De su estudio, llama la atención que la masa acumulada de HCH circulante sea inferior en todos los casos a la calculada para el CHS. En una primera aproximación, la masa acumulada de HCH debería ser la misma o haberse incrementado en caso de existir alguna aportación desde el barranco de Bailín. Entre las posibles explicaciones para esta observación pueden mencionarse: i) la diferente periodicidad y modo de muestreo en cada uno de los puntos considerados; ii) los diferentes métodos analíticos; iii) las diferencias en los límites de cuantificación de las concentraciones de HCH de los distintos laboratorios; o iv) la existencia de aportaciones de caudal no consideradas en el cálculo del caudal que llega al embalse de Jabarrella y que también pueden diluir las concentraciones de HCH. Todas estas causas influyen en el cálculo de la masa circulante entre los dos puntos que se comparan.

Estas diferencias se observan claramente en el año 2018 en el que, como se vio en la estación del CHS para este mismo año, no es apreciable un pico claro de concentración. Sin embargo, el cálculo del flujo de masa sí revela la existencia de un episodio de mayor aporte de HCH a las aguas del río Gállego en 2018. En Jabarrella este aporte se limita en el tiempo a los meses de agosto a octubre, quedando muy suavizado el efecto de las concentraciones observadas en el CHS durante los meses de mayo a julio por la dilución que provoca el caudal circulante por el río, que es de más del doble como media que el captado por el CHS. Este hecho podría explicar que la masa total circulante calculada para Jabarrella sea de 8 kg para este año, inferior a los 12 kg calculados para el CHS. Por tanto, no parece que la explicación de las desviaciones observadas en cuanto al flujo de masa de HCH circulante por el Río Gállego se deba a los procedimientos analíticos o a la existencia de algún sumidero de HCH (volatilización, sedimentación,...) en el tramo entre los embalses de Sabiñánigo y Jabarrella.

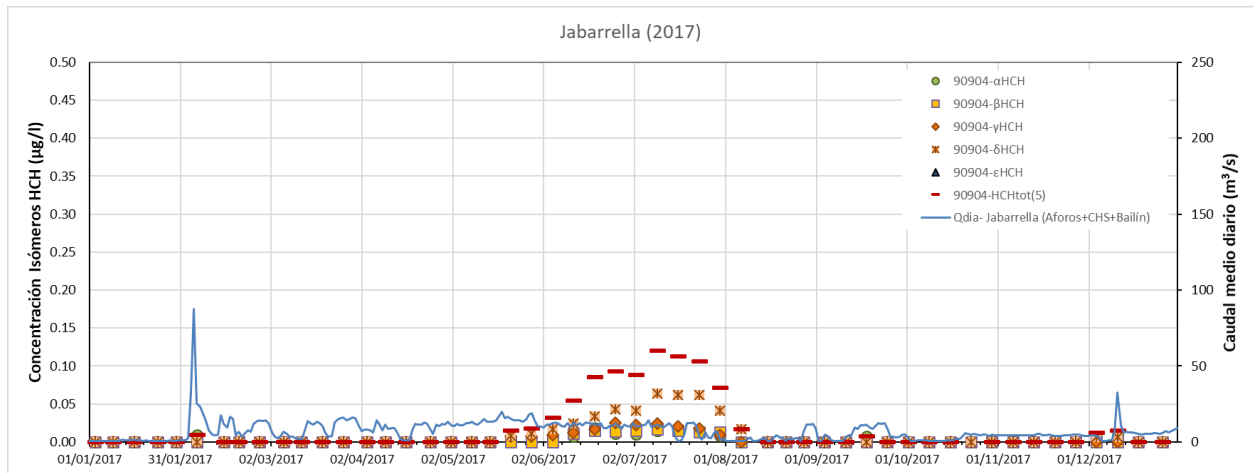


Figura 37. Caudal y concentración de HCH en el río Gállego medidos en Jabarrella en 2017

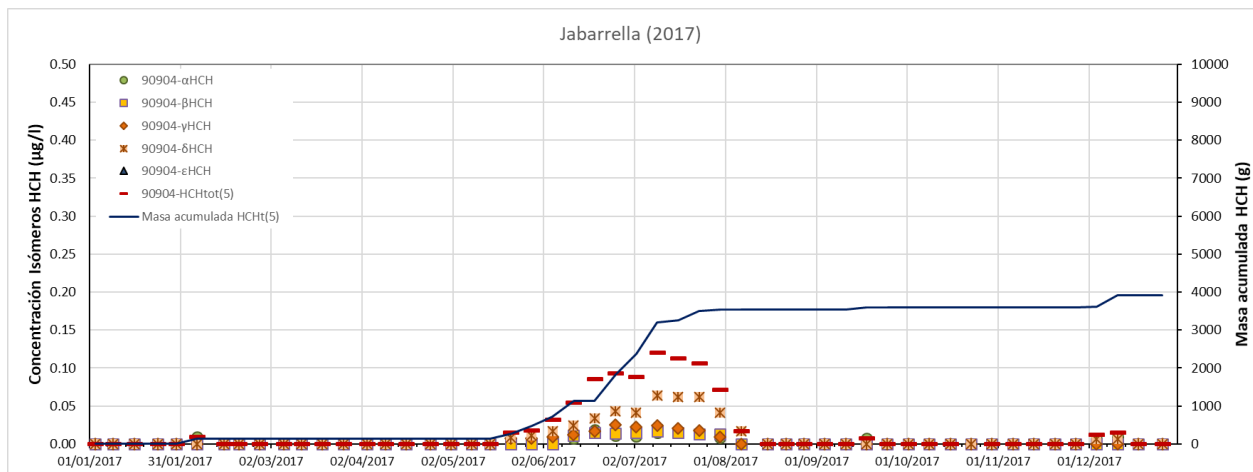


Figura 38. Masa acumulada de HCH circulante en el año 2017 por el río Gállego en Jabarrella

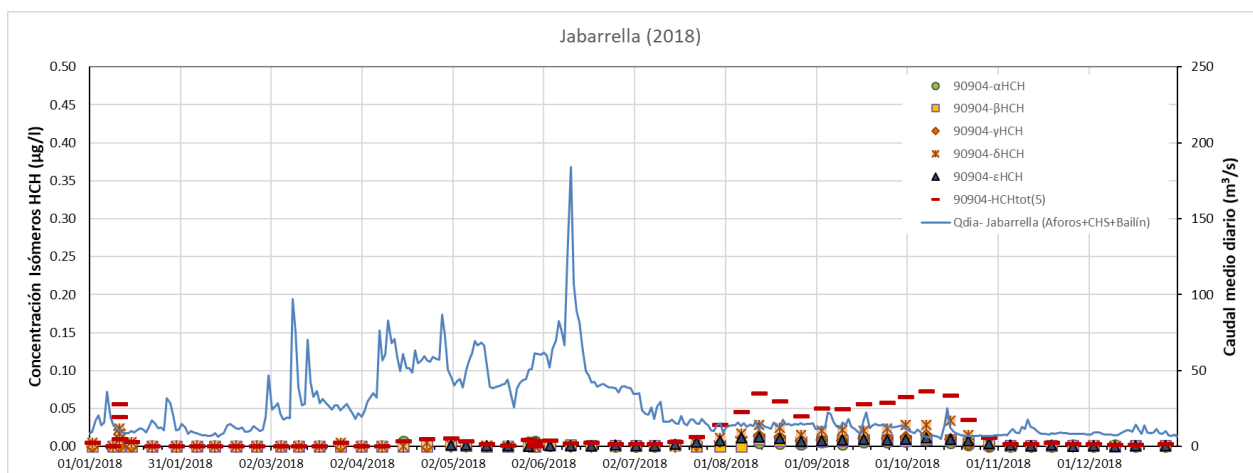


Figura 39. Caudal y concentración de HCH en el río Gállego medidos en Jabarrella en 2018

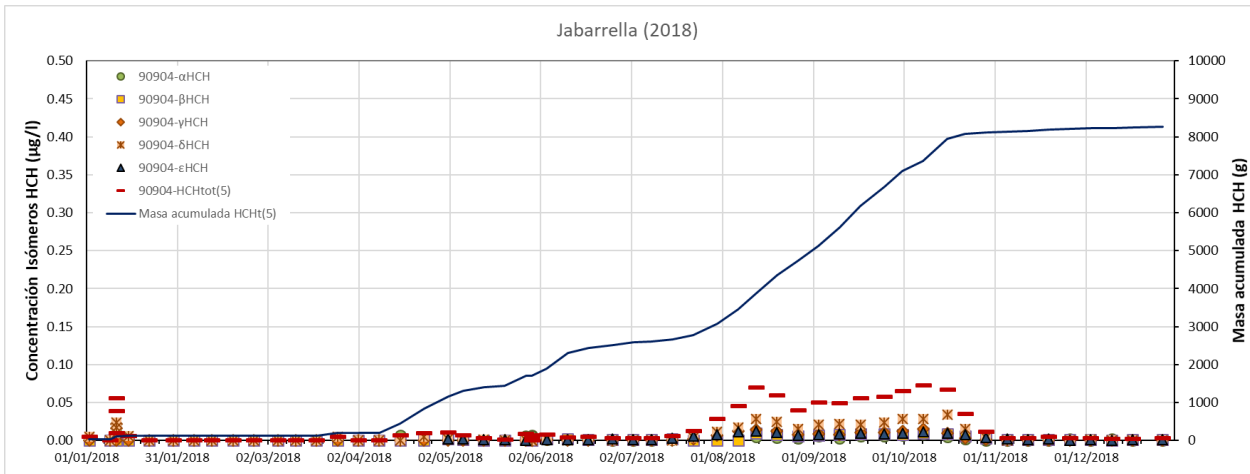


Figura 40. Masa acumulada de HCH circulante en 2018 por el río Gállego en Jabarrella

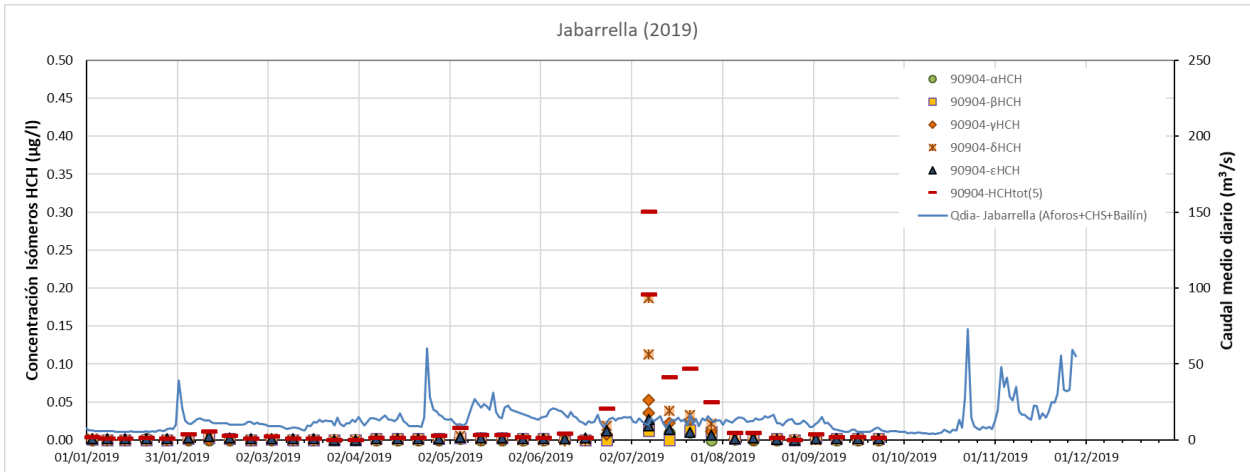


Figura 41. Caudal y concentración de HCH en el río Gállego medidos en Jabarrella en 2019

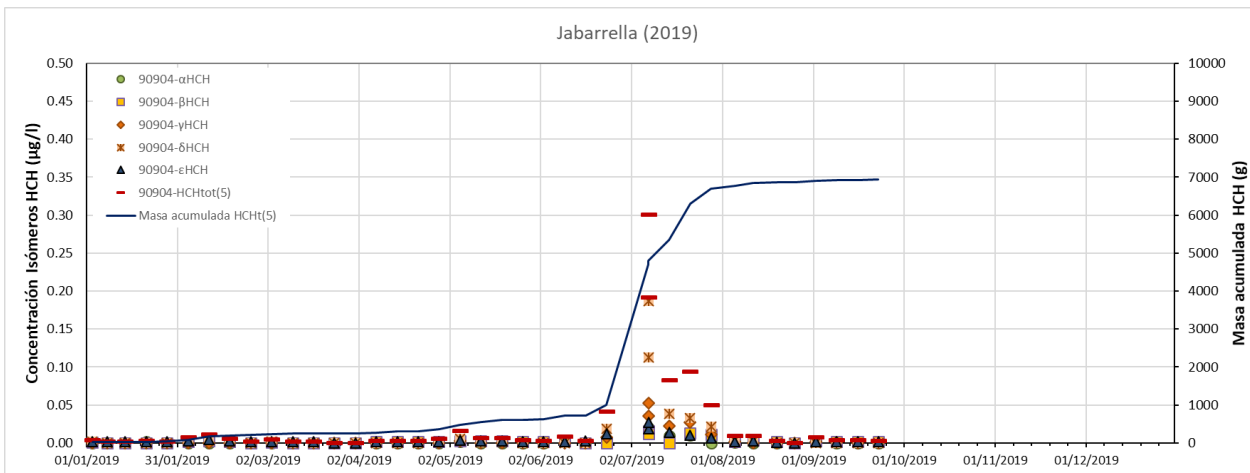


Figura 42. Masa acumulada de HCH circulante en 2019 por el río Gállego en Jabarrella

Por último, el porcentaje de isómeros de HCH respecto a la concentración total de HCH medido en el río Gállego en la estación de Jabarella muestra un comportamiento similar al observado en el CHS hasta el año 2018 (Figura 43), con periodos en los que la concentración de HCH está por debajo del LID o se detecta sólo el isómero α y otros en los que se producen los episodios de mayor concentración total de HCH, en los que se ven implicados todos los isómeros, especialmente en sus momentos centrales, en los que se identifican los isómeros δ -HCH y ϵ -HCH. En los años 2018 y 2019 se da esta última situación casi constantemente, salvo en el periodo de invierno intermedio, en el que no se detectan los isómeros α -HCH ni γ -HCH. La presencia del isómero ϵ es apreciable sólo a partir de 2018 porque hasta esa fecha no estaba puesta a punto su medida en el laboratorio de la CHE.

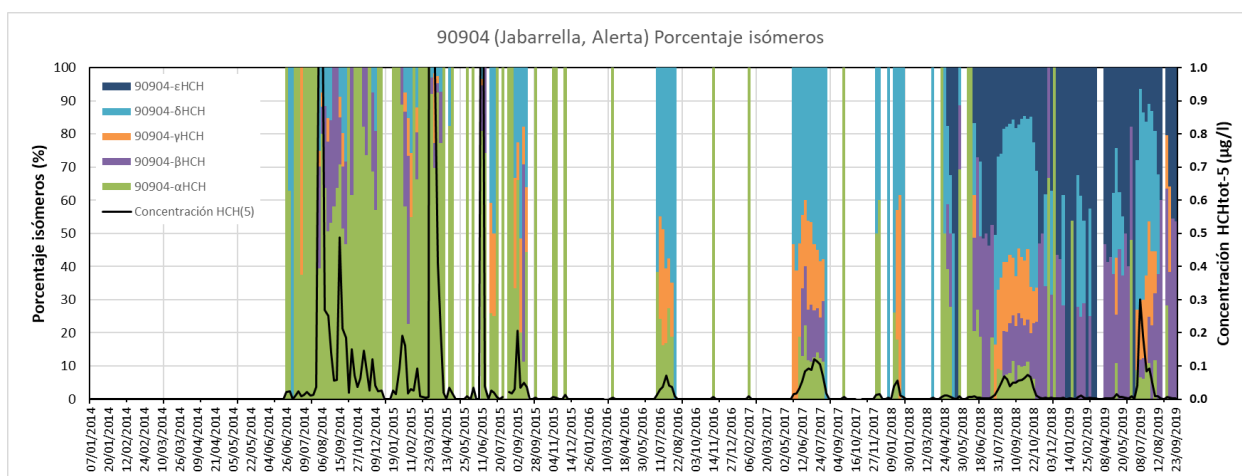


Figura 43. Porcentaje de isómeros de HCH respecto a la concentración total de HCH medido en el río Gállego en Jabarella entre 2014 y 2019

4.3 Escenarios de afección a las aguas del embalse de Sabiñánigo

Algunas de las hipótesis que se han barajado para explicar los episodios de contaminación por HCH de las aguas del río Gállego en el CHS pueden darse de forma simultánea y combinarse o superponerse, tanto aquellas que hacen referencia a distintos focos posibles para postular el origen de la contaminación, como aquellas que parten de un mismo origen, pero hacen mención a distintos procesos de lixiviación y transporte o distintos compartimentos intermedios implicados. Todas ellas se exponen y evalúan a continuación:

Contaminación desde el acuífero (gravas y arenas fluvio-glaciares):

1. Percolación vertical ascendente hacia el embalse desde el acuífero afectado por lixiviados procedentes del vertedero de Sardas. Esta hipótesis es postulada por los trabajos de la Universidad de La Coruña en EMGRISA (2020), a partir de los resultados de la revisión de los datos de piezometría y composición de las aguas del acuífero y de los modelos de flujo y transporte de solutos en las gravas del aluvial. La salida del agua subterránea hacia el embalse respondería al gradiente hidráulico que se genera en el acuífero desde la zona de mayor cota piezométrica en cabecera del embalse y en sus márgenes y se produciría preferentemente a través de los sedimentos de colmatación del embalse en la zona más próxima a la presa durante cada ciclo de descenso del nivel del agua del embalse. Esta solución debe combinarse con la mayor solubilidad que tendría el HCH en verano por la mayor temperatura del agua subterránea para explicar la estacionalidad de los episodios de contaminación observados y su concentración en esta época del año. Los trabajos



consultados llegan a cuantificar el flujo másico de HCH a que daría lugar este proceso hacia las aguas del embalse, un flujo que sólo explicarían las cantidades de masa de HCH detectadas en las aguas del CHS si se asumen valores elevados para el coeficiente de dispersión (K_d), espesores reducidos de la formación de los limos de colmatación, o la presencia de una vía preferente de conexión a favor de heterogeneidades sedimentarias de estos limos.

En esta situación, la hipótesis debe desarrollarse y detallarse para dar explicación a los datos observados. En primer lugar, se requiere hacer compatibles los detalles del modelo conceptual y los valores de los parámetros que son claves para que esta hipótesis sea válida con otros resultados de modelos de flujo y transporte del mismo equipo de trabajo. La capacidad de permitir el transporte de HCH en disolución debe ser compatible con la capacidad de retrasar y amortiguar las oscilaciones del nivel del agua y la llegada de los contaminantes desde las gravas al embalse, que se asigna a los limos y los sedimentos depositados en el fondo del embalse y que se interponen entre las gravas y el agua del embalse. Se podría postular que el efecto del transporte multicomponente que se produce en el acuífero y en estos limos favorezca la migración de HCH por incluir disolventes, lo que tendría un efecto similar a un valor bajo de K_d para estos materiales, pero no afectaría a los parámetros hidrodinámicos. No obstante, el mayor inconveniente de esta hipótesis está en que no se ha encontrado una evolución estacional en las concentraciones de HCH de las aguas del acuífero. Los datos existentes sobre la evolución de esta concentración en un número elevado de piezómetros en el acuífero durante más de una década muestran una gran variabilidad espacial y temporal, que dibuja manchas en estos terrenos y picos en el tiempo, pero no un comportamiento periódico. Convendría revisar si estas observaciones responden a la complejidad de los procesos de transporte o a las dificultades de realizar un muestreo representativo de la distribución de la contaminación en el acuífero. Por último, habría que explicar por qué el contenido de isómeros de HCH detectados en el CHS no coincide con la distribución encontrada en las aguas del acuífero.

2. Una variante de esa primera hipótesis sería que la conexión del agua del acuífero con el río se produjera en la cola del embalse donde el espesor del paquete de limos de la terraza puede ser menor, a favor del flujo del agua subterránea hacia esa zona en respuesta a la mayor presión que se genera por el embalse aguas abajo. Este funcionamiento hidrogeológico está demostrado por la evolución de la conductividad eléctrica en el acuífero en los modelos incluidos en EMGRISA (2020) y la llegada de contaminación por HCH a los puntos ST-2 y SPN1 (Figuras 24 y 25).
3. Migración de contaminantes desde las gravas aluviales próximas a la cerrada del embalse hacia el río a través de discontinuidades sedimentarias o estructurales de las formaciones geológicas sobre las que se asienta la presa. Esta hipótesis está refrendada también por los resultados de los modelos de flujo y transporte presentados en EMGRISA (2019). No obstante, en este caso la detección de la contaminación se haría en el propio río Gállego aguas abajo de la presa y no en las aguas del CHS, por lo que cabe descartar que esta sea la causa de los episodios periódicos detectados en las aguas del canal. Es, sin embargo, una situación a tener en cuenta y a controlar en la red situada aguas arriba del embalse de Sabiñánigo.

Contaminación desde los limos fluvioglaciares:

4. Lixiviación superficial de los suelos de rellenos y limos de las parcelas al pie del vertedero de Sardas en la margen izquierda del río, afectados por una contaminación generalizada por este vertedero,



procedente de residuos dispuestos sobre estas parcelas y los lixiviados del talud de carretera. El origen de este proceso estaría en las precipitaciones y la escorrentía superficial y subsuperficial a que darían lugar, por lo que sería esperable una correlación positiva entre cantidad o intensidad de eventos de precipitación y concentración de contaminantes en las aguas del CHS, algo que no se ha observado en el estudio realizado. Esta correlación podría estar enmascarada por la peculiar situación hidrológica del río Gállego en el embalse de Sabiñánigo, que podría encontrarse en momentos de máximo caudal o nivel del agua en estos eventos. No obstante, este efecto podría suceder en cualquier estación del año y no se justifica su ocurrencia preferente en verano.

5. Lixiviación en los limos de terraza en la franja afectada por la oscilación del embalse. Puede considerarse una variante de los procesos planteados en el punto anterior. Se trataría de una lixiviación, similar a la descrita, en la franja de limos más próxima al embalse de Sabiñánigo afectada por sus cambios de nivel, con una transferencia a las aguas del embalse causada por la escorrentía superficial y subsuperficial a que da lugar el mojado y secado intermitentes. En este caso, su ocurrencia preferente en temporada estival se podría explicar, como se ha avanzado en el apartado anterior, por el efecto de la mayor temperatura que aumenta la solubilidad del HCH. Este efecto se podría combinar con el de la mayor sequedad y agrietamiento del suelo que hace accesible mayor volumen de terreno al agua del embalse, aunque sea de modo intermitente, durante los pulsos de mayor nivel de sus aguas. Las raíces de la vegetación presente en las zonas de ribera también podrían favorecer la movilización de compuestos contaminantes por su mayor actividad extractiva en verano. Los estudios en curso por la CHE y la Universidad de La Coruña sobre cartografía de detalle de las zonas inundables sometidas diariamente a ciclos de emergencia y mojado pueden aportar información valiosa para perfilar y evaluar esta hipótesis. Los contaminantes de estos suelos podrían tener su origen en el flujo vertical ascendente desde el acuífero. Este último proceso se considera menos favorable, porque su impacto sería más constante y no explicaría la periodicidad de los episodios observados, dada la falta de una evolución estacional en las concentraciones de HCH de las aguas del acuífero. Debe apuntarse que, en este caso, el contenido de isómeros de HCH de estos limos sí coincide con la distribución detectada en el CHS.

Contaminación desde los sedimentos de colmatación del embalse:

6. Lavado de los sedimentos de colmatación del embalse en su margen derecha, en el brazo de INQUINOSA, afectados originalmente por los vertidos de esta fábrica. El proceso estaría limitado a los limos de colmatación en la margen izquierda del brazo de INQUINOSA, donde se sitúa una barra fluvial, ya que su margen derecha es más escarpada. En la parte más profunda del brazo, el proceso de transporte por posible difusión de HCH desde los sedimentos del lecho y el efecto estacional de la temperatura sería menor por la baja exposición a la atmósfera que parecen tener estos sedimentos y porque la temperatura del agua del embalse no supera los 16°C en verano según los datos recopilados y analizados. El lavado de la zona preferente mencionada daría lugar a una contaminación persistente de las aguas del río, o de periodicidad corta sujeta a la variación diaria del nivel del agua en el embalse, y no explicaría la periodicidad anual de los episodios de contaminación, salvo que se recurra a algún factor adicional que favorezca o inhiba el proceso en esos momentos. Como ya se ha dicho, uno de estos factores podría ser la temperatura del aire que condicionaría la temperatura del agua y de los sedimentos, especialmente de los tramos más superficiales sometidos a los ciclos de mojado y secado que quedan expuestos diariamente a la



atmósfera. Una mayor temperatura favorecería la disolución de los isómeros de HCH e incluso su volatilización en estos tramos en cada exposición y su posterior lavado por las aguas del embalse en cada inundación siguiente. En este caso, el lavado de los sedimentos contaminados iría reduciendo su carga contaminante y los episodios serían de menor envergadura con el tiempo, salvo que tengan un aporte constante o periódico de contaminación por flujo vertical ascendente desde tramos más profundos desde la zona hiporreica. El contenido de isómeros de HCH medidos en estos sedimentos del brazo de INQUINOSA (Anejo XI), en los que no parece presente el isómero δ -HCH no coincide bien con la distribución encontrada en las aguas del CHS. La huella de HCH de estos sedimentos, con mayor presencia de los isómeros ϵ -HCH y β -HCH, no coincide con la identificada en las aguas del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo, con mayor presencia de isómeros α -HCH y γ -HCH.

7. Lavado de los sedimentos de colmatación del embalse en su margen izquierda afectados por los lixiviados procedentes del vertedero de Sardas. Al igual que en la hipótesis anterior, sería necesario postular un factor adicional que explicara la distribución temporal de los episodios de contaminación. El espesor de los sedimentos afectados se concentraría en el metro más superficial sometido a ciclos de inundación y secado. En este caso sería necesario justificar la persistencia de la fuente de contaminación. Para ello puede postularse la afección por lixiviación subsuperficial de los limos de techo de la terraza del río en esta zona, de forma que podrían casi incluirse en esta formación. El origen más reciente de estos limos y la procedencia de sus materiales por transporte del río desde aguas arriba de este emplazamiento hacen su afección por la contaminación menos probable. Otra posibilidad es que exista conexión hidráulica en la vertical entre sedimentos de colmatación del embalse, limos de la llanura de inundación y la terraza y el acuífero, de modo que se facilitara el transporte de solutos por percolación vertical ascendente de las aguas del acuífero y su pluma de contaminación. En este caso, el lavado por las aguas del embalse o por las precipitaciones en los suelos contaminados no reducirían su carga contaminante con el tiempo, dado que existiría una alimentación constante por conexión con los materiales contaminados subyacentes. No obstante, esta situación coincide con la primera hipótesis contemplada en este apartado y le aplican los mismos comentarios y evaluación. El contenido de isómeros de HCH medidos en estos sedimentos tampoco coincide con la distribución encontrada en las aguas del CHS por tener en ellos una presencia limitada el isómero δ -HCH.
8. Cambios en la calidad del agua de entrada al embalse por vertidos urbanos, agrícolas, ganaderos o industriales que pudieran afectar a la movilización de contaminantes en los sedimentos del lecho del río. No obstante, no se tiene constancia de la presencia de núcleos urbanos o industriales aguas arriba del embalse de Sabiñánigo que pudieran motivar esta afección. Una situación de este tipo se dio en el episodio que se detectó en uno de los puntos de vigilancia de la calidad ecológica del río Gállego, entre la depuradora de Sabiñánigo y la desembocadura del barranco de Bailín, en el año 2011 de elevada mortalidad de ejemplares de piscardo (*Phoxinus phoxinus*) junto a un destacado olor a hipoclorito. Esta detección avala pensar que episodios de este estilo habrían sido igualmente detectados por los programas de vigilancia de la calidad del agua y ecológica de río Gállego.



Otros orígenes:

9. Fugas de las balsas de decantación ubicadas sobre las parcelas al pie del vertedero de Sardas. Esas fugas pueden ser superficiales por rebose o subterráneas. En el primer caso se habría observado y puesto de manifiesto durante la gestión de lixiviados. Además, existiría una clara correlación con las precipitaciones que no parece existir, aunque para una evaluación en detalle habría que conocer el estado de llenado de las balsas antes de cada evento de precipitación y la concentración de isómeros de HCH de sus aguas. En el segundo caso sería un proceso continuo y de flujo lento a través del acuífero que no daría lugar a episodios puntuales.
10. Aporte difuso por depósito de isómeros de HCH evaporados o volatilizados en la atmósfera, preferencialmente en época de altas temperaturas, y posterior lavado del suelo y drenado al embalse por la escorrentía generada en eventos de precipitación. Esta hipótesis requiere la existencia de un fondo elevado generalizado de contaminación de HCH en suelos y atmósfera del entorno del embalse de Sabiñánigo, algo que se ha confirmado en los programas de seguimiento del estado ecológico del río Gállego y en la contaminación de los puntos de muestreo seleccionados como “blancos” en estudios previos. Faltaría por encontrar un proceso que movilizara esta contaminación de fondo preferentemente en verano. Las precipitaciones podrían dar lugar a pulsos de concentración de HCH en las aguas de escorrentía, pero el hecho de que estos pulsos se detecten en verano en el CHS y que no vayan asociados a eventos de precipitación parece contradictorio con este origen. Otra situación en que puede pensarse es que en verano se acentúen procesos biológicos que favorezcan la movilización de HCH o se inhiban procesos biológicos que lo estuvieran reteniendo. No se ha encontrado información sobre caracterización del estado de contaminación por HCH de las diferentes especies de flora que se pueden encontrar en los ecosistemas acuáticos y de ribera del entorno del embalse de Sabiñánigo. Esta información podría ayudar a evaluar no sólo esta hipótesis sino la mayor parte de las expuestas en este apartado.
11. Impacto de las acciones de restauración, extracción, control o vigilancia. Debe tenerse en cuenta que la causa de varios de los episodios detectados en los puntos de muestreo de la estación de aforos de Sabiñánigo y de Jabarrella, como los ocurridos en los años 2014 y 2015, ha sido relacionada con operaciones de restauración de las aguas y terrenos afectados por el vertedero de Bailín. El efecto se daría durante estas operaciones, por lo que debería pensarse en alguna intervención que se manifieste preferentemente en verano o, al contrario, deje de hacerse preferentemente en verano y su afección al embalse dependerá del medio y tipo de operación que se realice. Por ello, deben controlarse estos efectos durante la gestión de estos trabajos.

De la exposición y evaluación de hipótesis realizadas en los 11 puntos anteriores parece que las hipótesis más plausibles para explicar los episodios de contaminación periódicos observados en el CHS, sin descartar otros procesos mencionados en el resto de hipótesis, son las siguientes:

- Flujo de agua y contaminantes hacia la cola del embalse a través de las terrazas y aluvial (Hipótesis 2).
- Lixiviación en los limos de terraza en la franja afectada por la oscilación del embalse (Hipótesis 5).

Para la evaluación con más detalle de estas hipótesis es clave utilizar los estudios antecedentes en los que se realiza una caracterización de parte de los compartimentos implicados, si bien estos estudios pueden



representar una “foto” antigua” de la situación de contaminación existente en la actualidad, que habrá evolucionado y convendría actualizar, especialmente en la margen izquierda, en la zona de Sardas. Más importante aún es caracterizar compartimentos y variables sobre las que se ha encontrado una información insuficiente para terminar esta evaluación. En el capítulo de conclusiones se exponen estas lagunas de información de forma que puedan completarse con la información que puedan aportar otras instituciones y empresas implicadas en la gestión de este problema medioambiental o con la que pueda generarse de los trabajos futuros que se proponen en el último capítulo.

5 CONCLUSIONES

El CEDEX ha estudiado, por encargo de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), el impacto de la contaminación por lindano en el río Gállego que puede proceder de lixiviados del vertedero de Sardas (Sabiñánigo).

El sistema que se ha estudiado está definido por el propio embalse de Sabiñánigo, incluyendo los sedimentos de su lecho y las formaciones geológicas que constituyen sus orillas, en las que se emplazan el vertedero de Sardas (margen izquierda) y la antigua fábrica de INQUINOSA (margen derecha). El estudio se ha centrado en los episodios periódicos de aumento de la concentración de lindano, el isómero gamma del 1,2,3,4,5,6-hexaclorociclohexano (HCH) en disolución en las aguas del río Gállego que se observan inmediatamente aguas abajo del embalse de Sabiñánigo. Para ello se han seleccionado las observaciones y medidas realizadas en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo, en los años 2017 a 2019. En este punto de muestreo, cuyas aguas proceden del embalse de Sabiñánigo, se pueden descartar las posibles aportaciones del vertedero de Bailín al río Gállego. Dado el objetivo del encargo, se ha prestado especial atención al análisis de la información sobre la composición y estructura del vertedero de Sardas y su conexión con las formaciones geológicas subyacentes y de éstas con el embalse.

El trabajo se apoya en la información generada durante décadas por otros centros de la Administración Central y de la Autonómica y sus expertos en múltiples disciplinas. Se ha intentado trabajar minuciosamente a una escala y con un enfoque que no dejara fuera de consideración ninguna característica del sistema y sus límites, ni de los procesos que pueden ser determinantes para explicar su comportamiento. Los resultados tienen una componente importante de reflexión sobre los datos, pero también de plantear hipótesis y necesidades de trabajos futuros sobre los que puede no haberse incidido bastante en los trabajos previos y que pueden ayudar a evaluar estas hipótesis.

Las dudas que han surgido de este trabajo revelan la existencia de incertidumbres sobre el funcionamiento del sistema hidrológico en el que se ubica el vertedero de Sardas y sobre el transporte de contaminantes al río Gállego en el embalse de Sabiñánigo cuya resolución es clave para conocer su evolución y determinar la gestión futura del agua y los residuos en esta zona. El mejor valor que puede aportar este trabajo está en continuar esta discusión por los responsables y expertos de la CHE y el Gobierno de Aragón para optimizar esfuerzos y aumentar la confianza de todos los agentes implicados en la gestión de este problema, en concreto en las decisiones técnicas que se tomen.

La información consultada revela el enorme desarrollo de capacidades que ha habido en todos los equipos que han trabajado en el problema medioambiental que plantea la gestión de residuos de la fabricación de lindano en el entorno de Sabiñánigo, desde los trabajos de campo, al laboratorio, la modelación, el desarrollo de planes de vigilancia, y la aplicación de técnicas de restauración de suelos contaminados. En esta



situación, el estudio planteado por la CHE no tiene una respuesta fácil, pero la misma existencia de los episodios de contaminación ofrece una oportunidad para la discusión conjunta sobre su origen y su evolución, si remitirán o aumentarán en intensidad en el futuro, y para la colaboración en su resolución. En este sentido, se sugiere potenciar una estrategia que: i) dirija la atención desde el receptor hacia la fuente de contaminación; ii) priorice las acciones futuras de vigilancia, gestión e investigación en función del riesgo de afección presente a ese receptor coordinando esfuerzos entre los agentes implicados; y iii) ponga tanto o más peso en los esfuerzos dirigidos a la contención de la contaminación que a su eliminación.

Los resultados de este estudio se han plasmado en dos entregables según lo acordado en el encargo de la Confederación Hidrográfica del Ebro:

1. Una base de datos cartográfica y una base de datos temporal de la información recopilada que se describe en los Anejos I a IV y que acompaña al presente informe en formato electrónico.
2. El presente informe de diagnóstico con una propuesta de actuaciones para la caracterización adicional de aspectos clave del sistema.

El análisis de la información técnica y científica aportada por la CHE y el GA, unida a la generada en este trabajo, ha permitido la revisión de los componentes principales del sistema (vertedero de Sardas, embalse de Sabiñánigo y formaciones geológicas subyacentes), la integración de resultados de estudios parciales previos y la elaboración y evaluación de hipótesis para explicar el problema de contaminación para llegar a las siguientes **conclusiones**:

1. El embalse de Sabiñánigo es actualmente un receptor principal de contaminación por lindano a las aguas del río Gállego, una contaminación que se detecta en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo y en el propio río, y se transfiere aguas abajo. Esta contaminación es detectada también en el embalse de Jabarrella, donde supera en algunas ocasiones los valores de referencia de concentración para la suma de todos los isómeros de HCH en aguas superficiales continentales del Real Decreto 817/2015, de 11 de septiembre.
2. De las hipótesis consideradas para explicar los episodios periódicos de contaminación observados en las aguas del Canal Hidroeléctrico de Sabiñánigo, se considera que las más plausibles son:
 - a. El flujo de agua y contaminantes hacia la cola del embalse a través de las terrazas y aluvial.
 - b. La lixiviación por las aguas del embalse de los limos arenosos de techo de la terraza inferior del río Gállego, en la franja que constituye su llanura de inundación, afectados por el vertedero de Sardas y por los materiales dispuestos sobre estas formaciones desde el vertedero.

En el primer caso, la principal vía de transporte sería subterránea, mientras que en el segundo caso las vías de transporte superficial y subsuperficial serían las más determinantes.

Un factor detonante principal en el proceso en los dos casos debe ser la temperatura, cuyo aumento en los meses de verano facilitaría la disolución de HCH, en el acuífero y en los tramos más superficiales de estos sedimentos en contacto con las aguas del embalse de Sabiñánigo, que los inundan y lavan diariamente. Esta temperatura oscila sólo unos 3°C mientras que podría alcanzar valores superiores a 30°C y ser más efectivo su impacto en los suelos de esta zona.



La huella de HCH de los residuos en Sardas y de los terrenos afectados, con presencia de todos los isómeros de HCH podría explicar la huella identificada en las aguas del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo, pero no permite una correlación directa. Es necesario, también, postular una diferente velocidad o intensidad de lixiviación de los isómeros en el orden de aparición observado en las aguas del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo: α -HCH, γ -HCH, δ -HCH, β -HCH y ϵ -HCH. Es difícil también postular en detalle el efecto combinado que puede tener un flujo multifase y multicomponente en una situación hidrológica compleja como la que se da en estos sedimentos, con flujo de agua horizontal y vertical, y en zona saturada y no saturada, por lo que en el capítulo de Propuesta de Trabajos Futuros se propone estudiar en profundidad el metro más superficial de sedimentos en la franja más próxima al río o más contaminada en esta zona de ribera.

3. Otras hipótesis evaluadas se han considerado menos probables porque su efecto no produciría episodios periódicos sino una aportación constante, porque su efecto sería menor o porque la huella de isómeros de HCH no coincide con la observada en las aguas del canal hidroeléctrico de Sabiñánigo. No obstante, no se descartan, y en el capítulo de trabajos futuros se proponen estudios que ayudarán a evaluar el conjunto de hipótesis planteadas, algo que se beneficiará también de una discusión en mayor profundidad de estas hipótesis por los técnicos de la CHE y el GA.
4. El muestreo integrado de periodicidad semanal (Confederación Hidrográfica del Ebro) y bisemanal (Gobierno de Aragón) ha sido clave para poder identificar los pulsos de contaminación que se producen en el embalse de Sabiñánigo. No obstante, la solución a las dudas y evaluación de las hipótesis planteadas en este informe requieren la implantación de otro tipo de muestreo, como se propone en el capítulo siguiente, por las razones que se exponen a continuación:
 - a. La dinámica del embalse, con oscilaciones del nivel del agua de periodicidad inferior a diaria, se puede traducir en pulsos sólo identificables con muestreos de periodicidad horaria en el agua del embalse. De modo similar, el efecto de la temperatura sólo podrá evaluarse con datos tomados también con periodicidad horaria acompañando al muestreo del agua intersticial en los sedimentos cuya lixiviación se postula. El tiempo de renovación del embalse, del orden de unas horas, unido a la posibilidad de que los isómeros de HCH se movilicen en diferentes modos (solución, suspensión) y en diferente relación con otros contaminantes con diferente grado de volatilización pueden dificultar su identificación en las aguas del embalse y facilitarla en el canal, donde se habrá producido la mezcla completa, pero los datos que aportaría la vigilancia de corto período de las aguas del embalse podría ayudar a identificar el foco de la contaminación y el proceso que lo motiva y a diseñar acciones para su eliminación o para minimizar su impacto. Por todo ello, se propone la incorporación de muestreos de periodicidad diaria y horaria.
 - b. La información que aportan las redes operativas actualmente permite una cuantificación aproximada de los flujos de masa de salida de HCH aguas abajo del embalse de Jabarrella, pero no aguas abajo del embalse de Sabiñánigo. Por un lado, no hay datos de aforo ni de análisis en ningún punto del río Gállego inmediatamente aguas abajo de la presa de Sabiñánigo y antes de su confluencia con otros ríos y arroyos afluentes, hasta la estación de aforos de Sabiñánigo, ya influenciada por el vertedero de Bailín. Por otro, las series de datos de calidad y cantidad del agua del canal de Sabiñánigo son limitadas en el tiempo y tienen una periodicidad distinta de análisis que la del punto de muestreo de Jabarrella,



también afectado por el vertedero de Bailín. Por tanto, se propone la extensión de las redes de aforo y de muestreo sistemático existentes en las aguas superficiales del río Gállego.

5. Uno de los principales problemas de la contaminación del medio hídrico por residuos orgánicos densos no acuosos, la afección a grandes volúmenes de masas de agua subterránea por su migración vertical descendente en el suelo y en el medio saturado, es mínimo en el caso del vertedero de Sardas por las características concretas de este emplazamiento. La presencia de un sustrato margoso de baja permeabilidad y elevada potencia (varios cientos de metros) limita el avance de los contaminantes a grandes profundidades, y el acuífero o masa de agua subterránea principalmente afectada por lixiviados del vertedero de Sardas es de un tamaño reducido por tratarse de un sistema aluvial de unos metros de espesor y unos pocos km² de extensión superficial. No obstante, la conexión de este acuífero con una masa de agua superficial, el río Gállego en el embalse de Sabiñánigo, plantea el problema de una posible afección rápida a los usos aguas abajo de esta masa, entre los que está el abastecimiento a varias poblaciones y el regadío. Estas características limitan las consecuencias del problema en cuanto a aguas subterráneas se refiere, pero acentúan el riesgo para las aguas superficiales a corto, medio y largo plazo.
6. La presencia de una formación de limos a techo del acuífero contaminado atenúa y retrasa la contaminación del embalse desde el acuífero, pero su contaminación superficial asigna a esta formación el papel de posible fuente además de sumidero de HCH. El estudio en detalle de este doble papel de los limos de techo de la terraza de la parcela al pie del vertedero de Sardas será clave para revisar la evaluación del riesgo de contaminación del río Gállego.
7. La estrategia de gestión del vertedero de Sardas ha acentuado el objetivo de aplicación de metodologías de descontaminación, especialmente en el propio vertedero. Sin embargo, dado que se mantienen sin resolver una serie de incertidumbres y una alerta de contaminación del río Gállego cuya reducción debe ser abordada, se recomienda acentuar en paralelo y al mismo nivel la caracterización de otros componentes del sistema y el objetivo de confinamiento.
8. Las técnicas de descontaminación con surfactantes en el aluvial presentan un riesgo de movilización descontrolada de contaminantes y pueden seguir su desarrollo en laboratorio en espera de que la caracterización del medio proporcione toda la información necesaria para que su aplicación sea efectiva y eficaz. Para ello es necesario conocer mejor los mecanismos de movilización del HCH y su migración hasta las aguas del embalse y la atmósfera.

6 PROPUESTAS DE TRABAJOS FUTUROS

En base a las conclusiones obtenidas de este estudio se proponen a continuación varias líneas de trabajo futuro:

1. **Redes de vigilancia.** Se recomienda la revisión conjunta y coordinada de los puntos de muestreo y aforo del agua superficial que mantienen la Confederación Hidrográfica del Ebro y el Gobierno de Aragón en el río Gállego y su periodicidad para adaptarlos al objetivo de identificar los focos de contaminación del agua el embalse de Sabiñánigo y evaluar los procesos que la motivan. La unificación de objetivos y criterios en las redes de medida maximizaría resultados y minimizaría esfuerzo e inversión. Entre los detalles a aplicar al muestreo de las aguas, se consideran de interés los siguientes:



- a. El registro continuo de la conductividad eléctrica y la temperatura del agua del embalse de Sabiñánigo en su cabecera y en su salida en la presa permitiría disponer de una información de base que ayudaría a la interpretación de los cambios que se observen en otros parámetros físico-químicos o de calidad de sus aguas. Esta información se podría correlacionar con la obtenida en otros estudios, como los de seguimiento en puntos del acuífero, y en los piezómetros y puntos de muestreo que se proponen en la orilla de la formación de limos de la terraza de la parcela al pie del vertedero de Sardas.
 - b. La instalación de un punto de muestreo y aforo ubicado inmediatamente aguas abajo de la propia presa, antes del puente de Sabiñánigo completaría la información que aporta el punto ubicado en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo y apoyaría la interpretación de sus datos. Hay que contar con la proximidad de la desembocadura del río Tulivana a la presa.
 - c. La periodicidad de muestreo en este punto y en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo debería aumentarse a diaria durante las semanas que duren los próximos episodios de contaminación en verano, y a cada tres o cuatro horas durante alguna de las semanas de mayor concentración de isómeros de HCH de estos episodios. Esta periodicidad podrá optimizarse cuando se logre tener los datos suficientes para evaluar las hipótesis sobre la contaminación del agua del embalse de Sabiñánigo.
 - d. El análisis de las aguas en todos estos puntos debe incluir el conjunto de isómeros de HCH que se detecta en las aguas del CHS para permitir la comparación entre los posibles focos y el receptor.
 - e. Teniendo en cuenta la posibilidad de que los isómeros de HCH se movilicen en diferentes modos (solución, suspensión) y en diferente relación con otros contaminantes con diferente grado de volatilización en un perfil vertical del agua en el embalse, sería recomendable el muestreo integrado o la instalación de captadores de HCH en un tramo próximo al fondo, otro superficial y otro de profundidad intermedia en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo en el punto inmediato de salida de la presa. Este muestreo puede hacerse con periodicidad semanal y concentrarse durante las semanas que duren los próximos episodios de contaminación.
 - f. Sería recomendable recoger muestras en diferentes épocas en las que se analizaran separadamente las fases en disolución y en suspensión con el fin de comparar esos resultados con los análisis habituales de muestras integradas.
 - g. Incluir el análisis de isómeros de HCH en muestras de la precipitación captada en una estación meteorológica representativa de la zona del embalse de Sabiñánigo. El muestreo y análisis debe ser de periodicidad mínima mensual y ser ponderado por la cantidad de precipitación.
2. **Caracterización y prospección del medio.** Se recomienda diseñar la caracterización en profundidad de la posible entrada de agua desde el acuífero al río Gállego en la cola del embalse de Sabiñánigo, y de los limos de techo de la terraza inferior del río Gállego al pie del vertedero de Sardas, dado que es la formación más susceptible de motivar los episodios de contaminación del agua del embalse de Sabiñánigo. La caracterización deberá realizarse aplicando técnicas no



destructivas sobre algunos compartimentos del sistema implicado en este problema de contaminación de los que falta información relevante para su estudio. Así:

- a. Se sugiere la ejecución previa de una campaña de medida de la concentración de HCH en la vegetación de ribera y acuática (una matriz que ha aportado buenos resultados en la vigilancia de pesticidas y la caracterización de la extensión de la contaminación por HCH en el medioambiente) y de gases en los terrenos que ocupan las dos márgenes del embalse de Sabiñánigo. La medida de la exhalación de gases contaminantes a la atmósfera desde estos terrenos puede aportar información relevante para la identificación de zonas de mayor contaminación en profundidad y para evaluar el propio impacto de estos gases en la calidad del aire. Estos trabajos proporcionarían “mapas” de concentración de HCH con una mínima alteración de los materiales con vistas a prospecciones y estudios posteriores.
- b. La zona a caracterizar sería una franja de terreno de la orilla izquierda del embalse de Sabiñánigo de unos 50 m de longitud medidos en sentido transversal al eje del río Gállego desde el límite Sur de las instalaciones del vertedero de Sardas hasta el puente de la carretera N330/E7 que cruza el río Gállego. Se propone realizar tres perfiles en tramos seleccionados donde la contaminación de estos terrenos pueda ser mayor en función de los estudios previos y del resultado de los reconocimientos que se proponen en el siguiente punto. Para la ubicación de estos perfiles, debe tenerse en cuenta la existencia en los terrenos próximos de catas y sondeos que puedan haber conectado tramos permeables de diferentes profundidades y de zanjas y drenes que pueden reconducir los flujos subsuperficiales de aguas contaminadas.
- c. Selección y aplicación de métodos de caracterización de esta franja específicos para terrenos contaminados por residuos de DNAPLs. En una primera selección a partir de técnicas descritas en Stroo y Ward (2010) se utilizarían: i) muestreadores pasivos AGI para reconocimiento previo y ubicación posterior de piezómetros, ii) medidores pasivos de flujo (trazador y absorbente), y ii) FLUTE liner adaptados para medida de isómeros de HCH en disolución en suelos.
- d. Se sugiere la perforación a hinca de minipiezómetros en tres ubicaciones por perfil para registro continuo de nivel del agua, conductividad eléctrica (CE) y temperatura, medida de otros parámetros inestables (pH, O₂ disuelto potencial redox), y muestreo y análisis del agua intersticial a diferentes profundidades (20, 40, 80 y 100 cm desde la superficie) en cada ubicación. Este muestreo puede usarse como comprobación de la información que aporten los reconocimientos propuestos en el punto anterior y aportar información adicional del conjunto de contaminantes en las aguas para ver el posible efecto cruzado entre unos y otros contaminantes. Los puntos más próximos al embalse pueden captar la capa más fina de sedimentos de colmatación del embalse y quedar inundados periódicamente por lo que debe acondicionarse su acceso de forma que no altere las condiciones del punto y comprometa su representatividad. Un objetivo adicional de estos puntos sería definir el espesor de los limos de colmatación del embalse e identificar su contacto con los limos subyacentes de techo de la terraza. Los reconocimientos fotográficos con sensores de temperatura apoyados con drones podrían ayudar a precisar la zona para situar estos



micropiezómetros y también a valorar las diferencias estacionales de temperatura que se producen en estos suelos y en sus aguas de saturación, y compararlas con las que se miden en las aguas del embalse y del acuífero.

- e. En función de los resultados obtenidos se podría considerar la utilización de técnicas basadas en la medida de isótopos estables de la molécula del agua para evaluar el origen del agua de estos sedimentos. Estas medidas podrían complementarse con la medida de estos mismos isótopos y de tritio en las aguas del acuífero para conocer su origen, su conexión con el río Gállego y su tiempo de renovación.
- f. Las nuevas ubicaciones de algunos de estos minipiezómetros, podrían servir para la toma de muestras inalteradas sobre las que medir la conductividad hidráulica y parámetros de transporte de interés para otros estudios en curso o previstos, o el estudio de parámetros biológicos para considerar la influencia de procesos biológicos en la migración de contaminantes en los tramos más superficiales de esta zona.
- g. Habida cuenta del elevado número de sondeos existentes, se considera que hay margen para depurar aún más el modelo geológico en cuanto a representación espacial de lentejones y digitaciones de los distintos materiales cuaternarios, con el apoyo de los resultados de esta caracterización.
- h. La información generada puede usarse para la revisión e integración de los trabajos de modelación numérica de forma que pueda avanzarse en aspectos como la cartografía general de la contaminación. En la actualidad, la cartografía de penachos se limita a los valores de altas concentraciones de contaminantes, enmascarando la contaminación menos llamativa pero más extensa de valores cercanos al límite de referencia del Real Decreto 817/2015 que afecta a las litologías del entorno del vertedero de Sardas y a las parcelas a pie, y que llega al río.

3. **Actuaciones en el vertedero de Sardas y parcelas a pie de vertedero.** El CEDEX comparte el planteamiento de sellado del vertedero que se contempló en su momento y el interés del estudio del origen del agua del vertedero de Sardas. A la vista de los resultados del trabajo de análisis y diagnóstico realizado, se sugiere la consideración de los siguientes aspectos:

- a. Se debería evaluar la posibilidad de limitar la entrada de agua subterránea al vertedero, que se postula en base al estudio de los datos de sondeos de estudios previos y de los reconocimientos de campo realizados en este estudio, mediante el sellado de las fracturas y zonas de alteración en las margas.
- b. Esta medida puede complementarse con la evaluación de la posibilidad de refuerzo de la pantalla frontal del vertedero para ser excavada con hidrofresa y construida con hormigón convencional, cuyo control de ejecución y equipos auxiliares son más sencillos y cuyos resultados en cuanto a impermeabilidad y resistencia a tracción y a compresión son mejores que las pantallas de mezcla bentonita-cemento. El drenaje pasivo controlado y tratamiento de los residuos líquidos captados aguas arriba de la pantalla sería compatible con esta solución. Estas soluciones eliminarían las surgencias observadas al pie del talud que comprometen la calidad del agua y del aire en la zona.



- c. Independientemente de las medidas mencionadas y con carácter más urgente, se recomienda la instalación de dispositivos de control, tales como inclinómetros, que sirvan de alerta ante la eventual desestabilización del talud del vertedero.
- d. Estudio de la posible aplicación de técnicas de retención que potencien los procesos de biodegradación natural en el acuífero aluvial y el efecto de limitación del flujo y del transporte de contaminantes que ejercen las margas y los limos de techo de la terraza más baja del río Gállego en la margen izquierda.
- e. Evaluar las implicaciones en la calidad del aire y del agua del embalse de Sabiñánigo por la aplicación de técnicas de descontaminación (SEAR, ISCO y SISCO), biorremediación y electrocinéticas sobre la fase libre en el vertedero y terrenos afectados, y también la posible desestabilización de los residuos sólidos del vertedero por la aplicación de estas técnicas.

7 ESTUDIOS Y TRABAJOS CONSULTADOS

Álvarez-Rodríguez, J., Barranco Sanz, L.M., García Bravo, N., Potenciano de las Heras, Á. & Villaverde Valero, J.J. (2016). Evaluación de los recursos hídricos en España. Julio 2016. M-129. Centro de Estudios Hidrográficos. CEDEX. Centro de Publicaciones. Secretaría General Técnica. Ministerio de Fomento. ISBN: 978-84-7790-578-3.

Amadori, E. (1993). The production and use of HCH. HCH and halogenated pesticides. State of art for risk assessment and technology development. IWU, Magdeburgo, pp.11-13.

ARC (2014). Guía técnica para la evaluación de la problemática del subsuelo asociada a compuestos organoclorados. Agència de Residus de Catalunya. Departament de Territori i Sostenibilitat. Generalitat de Catalunya (España). Enero de 2014.

Barrere, P. (1966). La morphologie quaternaire dans la région de Biescas et de Sabinañigo (Haut-Aragon). En: Bulletin de l'Association française pour l'étude du quaternaire, vol. 3, n°2, 1966. pp. 83-93; doi : <https://doi.org/10.3406/quate.1966.2074>. https://www.persee.fr/doc/quate_0004-500_1966_num_3_2_2074. Último acceso 18 de noviembre de 2021.

Benimeli, C.S., González, A.J., Chaile, A.P. y Amoroso, M.J. (2007). Temperature and pH effect on lindane removal by *Streptomyces* sp. M7 in soil extract. *Journal of Basic Microbiology* (47), pp. 468-473.

Calvelo (2008). Estudio del comportamiento del HCH en el sistema suelo-planta para su aplicación en técnicas de fitorremediación. Tesis Doctoral para aspirar al Grado de Doctor en Ciencias Biológicas. Universidad de Santiago de Compostela, mayo 2008.

CAS: 58-89-9 (2021). Ficha técnica del lindano. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. Gobierno de México. Acceso (15/07/2021) <http://www2.inecc.gob.mx/sistemas/plaguicidas/pdf/lindano.pdf>.

CEDEX (1989). Estudio y análisis sobre la contaminación por residuos tóxicos en la cuenca alta del río Gállego. Avance de trabajos (primera campaña). Dirección General de Medio Ambiente (M.O.P.U.). Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, diciembre 1989.

CEDEX (1990a). Estudio y análisis de sustancias peligrosas definidas por la C.E.E. Informe Parcial N° 3. Tomo Único para Dirección General de Obras Hidráulicas. M.O.P.U. Centro de Estudios Hidrográficos del



Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. CLAVE CEDEX-44-450-1-008. Madrid, marzo 1990.

CEDEX (1990b). Proyecto de investigación en el campo de los microcontaminantes orgánicos presentes en el agua en colaboración con la C.E.E. Tomo único, informe único y definitivo. Para Dirección General de Obras Hidráulicas M.O.P.U. Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. CLAVE CEDEX 42 -440 - 1- 018. Madrid, mayo de 1990.

CEDEX (1990c). Estudio y análisis sobre la contaminación por residuos tóxicos en la cuenca alta del río Gállego. Informe final. Tomo único. Segunda campaña para la Secretaria General de Medio Ambiente (M.O.P.U.). Centro de Estudios Hidrográficos del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid, noviembre 1990.

CEGET-CNIG (2021). Vuelo Americano Serie B 1956-1957. Vuelo fotogramétrico realizado en los años 1956-57 por el Army Map Service de EE.UU. Acceso CNIG: <https://fototeca.cnig.es/fototeca/> (último acceso 20/08/2021).

Confederación Hidrográfica del Ebro (2020) Esquema de Temáticas Importantes Documento Completo (Memoria y Anejos) de la Demarcación Hidrográfica del Ebro. Tercer ciclo de planificación hidrológica. Acceso <http://www.chebro.es/contenido.visualizar.do?idContenido=64553&idMenu=6441> (último acceso 18/11/2021).

Cohen, R.M. y Mercer, W. (1993). DNAPL site evaluation. C.K. Smoley. Boca Ratón, Florida. 3 pp.

CONVENIO DE ESTOCOLOMO (2017). Texto y Anexos sobre contaminantes orgánicos persistentes (COP).

DGPI (2016). El lindano (contaminante orgánico persistente) en la UE. Dirección General de Políticas Interiores. Departamento Temático C: Derechos de los Ciudadanos y Asuntos Constitucionales. Peticiones. Estudio para la Comisión PETI. 2016, Informe, 98 p.

EMGRISA (2010a). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Memoria inicial. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.

EMGRISA (2010b). Proyecto de remediación del subsuelo de las parcelas al pie del vertedero de Sardas, Sabiñánigo (Huesca). Volumen I. Documento 1. Memoria y anejos. Anejo I: Caracterización medioambiental. Anejo II: Estudio de alternativas de remediación. Anejo III: Normativa aplicada. EMGRISA para Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, abril 2010.

EMGRISA (2011). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Memoria final. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, marzo 2011.

EMGRISA (2011). Muestreos y análisis de aguas en el pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Memoria final. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, marzo 2011.

EMGRISA-IDOM (2011a). Diagnóstico ambiental. Campaña de investigación y estudio hidrogeológico y geotécnico de detalle para la mitigación de la contaminación en el área afectada del vertedero de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) en el año 2009. Planteamiento de alternativas y trabajos complementarios para una solución definitiva.



EMGRISA-IDOM (2011b). Estudio de alternativas técnicas para solucionar la problemática ambiental del vertedero de Sardas, TM Sabiñánigo (Huesca) en el año 2009. Planteamiento de alternativas y trabajos complementarios para una solución definitiva.

EMGRISA (2012a). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Memoria final. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, mayo 2012.

EMGRISA (2012b). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Nota técnica mensual. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, julio 2012.

EMGRISA (2012c). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Nota técnica mensual. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, agosto, 2012.

EMGRISA (2012d). Seguimiento de la red piezométrica del pie del vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Nota técnica mensual. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, septiembre, 2012.

EMGRISA (2013a). Seguimiento hidrogeológico y control del acuífero, por trámite de emergencia, en el vertedero de Sardas (Sabiñánigo, Huesca). Expediente 1407-4422-2012/16. Memoria final de actuaciones. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente, febrero 2013.

EMGRISA (2013b). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2012-2013. Memoria anual 2013. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.

EMGRISA (2014). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2012-2013. Memoria prórroga (enero-septiembre de 2014). EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.

EMGRISA (2015). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) -2015. EXP.: 1407-4422-2015/01. Memoria anual 2015. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Medio Ambiente.

EMGRISA (2016). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) -2015. Prórroga 2016 y emergencia oct-dic 2016. Exps.: 1407-4422-2015/01 y 1404-4422-2016/12. Memoria anual 2016. EMGRISA para Gobierno de Aragón, Departamento de Desarrollo Rural y Sostenibilidad.

EMGRISA (2018a). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2017-2018. Exp.: 1407-4422-2016/02. Memoria anual 2017. EMGRISA para Gobierno de Aragón, enero de 2018. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020. Construyendo Europa desde Aragón.

EMGRISA (2018b). Memoria Anual 2018. Servicio de Seguimiento Hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2017-2018. Exp.: 1407-4422-2016/02. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020. Construyendo Europa desde Aragón.



EMGRISA (2018c). Ensayos de extracción mejorada con surfactantes en el acuífero aluvial del vertedero de Sardas y tratamiento on site mediante técnicas de aireación-oxidación. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020. Construyendo Europa desde Aragón.

EMGRISA (2020). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2017-2018. Exp.: 1407-4422-2016/02. Memoria anual 2019. EMGRISA para Gobierno de Aragón, febrero de 2019. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020. Construyendo Europa desde Aragón.

EMGRISA (2021). Servicio de seguimiento hidrogeológico de Sardas, Sabiñánigo (Huesca) 2020-2022. Exp.: 1404-4422-2019/19. Memoria anual 2020. EMGRISA para Gobierno de Aragón, febrero de 2021. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020. Construyendo Europa desde Aragón.

GEOCISA (2010). Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos. Geocisa S.A. Trabajo para la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Septiembre 2010.

GEOFÍSICA CONSULTORES (2010). Estudio geofísico combinado, mediante tomografía eléctrica y tomografía sísmica de refracción, para el proyecto de actuaciones de descontaminación de una parcela aneja al vertedero de Sardas (Huesca). GEOFÍSICA CONSULTORES para EMGRISA, enero de 2010.

GEOFÍSICA CONSULTORES (2013). Estudio geofísico combinado, mediante tomografía eléctrica para el proyecto de actuaciones de descontaminación del vertedero de Sardas (Huesca). GEOFÍSICA CONSULTORES para EMGRISA, enero de 2013.

Gobierno de Aragón (2006 a 2020) Informe anual sobre las actuaciones encaminadas a determinar el estado ecológico de los cauces en la cuenca del río Gállego (Bailín-Sabiñanigo). Informes elaborados por TEYCA, SODEMASA y SARGA.

Gobierno de Aragón (2012): Proyecto de actuaciones para el control de la contaminación en el vertedero de Sardas, Sabiñánigo (Huesca). Informe elaborado por SODEMASA.

Gobierno de Aragón (2017) Plan estratégico de lucha integral contra la contaminación de los residuos generados por la fabricación de lindano en Aragón. Programa Operativo Fondo Europeo de Desarrollo Regional de Aragón 2014-2020 Construyendo Europa desde Aragón. Gobierno de Aragón, diciembre 2017.

Guadaño, J. y Gómez, J. (2016). El vertedero de Sardas y el problema del lindano. RETEMA, Julio/Agosto 2016, pp. 14-19. Acceso (2021/07/08) <https://issuu.com/r.retema/docs/retema192/20>.

Hernández, D.M. (2017). Relaciones suelo-vegetación-contaminación en entornos contaminados por hexaclorociclohexano (vertedero de Bailín, Sabiñánigo, Huesca). Trabajo Fin de Máster. Máster en geología: Técnicas y aplicaciones. Departamento en Ciencias de la Tierra. Facultad de Ciencias. Universidad de Zaragoza, septiembre 2017.

Huling y Weaver (1991). Dense Nonaqueous Phase Liquids. U.S Environmental Protection Agency EPA Groundwater issue, 21 pp.

Instituto Geológico y Minero de España (2012). Mapa Geológico de España Escala 1:50.000, Sabiñánigo.



Instituto Geográfico Nacional de España (2021). Modelo Digital del Terreno - MDT05. 1ª Cobertura con paso de malla de 5 m. CNIG, Centro de Descargas. Acceso (2021/06/18) <https://centrodedescargas.cnig.es/CentroDescargas/index.jsp>.

ISO 18512 (2007). Soil quality. Guidance on log and short term storage of soil samples.

Kueper, B.H., Wealthall, G.P. Smith, J.W.N., Leharne, S.A., Lerner, D.N. (2003). An illustrated handbook of DNAPL transport and fate in the subsurface. United Kingdom Environment Agency R&D Publication 133, 67 pp.

Labauze, P., Teixell. (2018). A 3D structure of subsurface thrusts in the eastern Jaca Basin, southern Pyrenees. *Geologica Acta*, Universidad de Barcelona, 2018, 16 (4), pp.477-498. 10.1344/GeologicaActa2018.16.4.9. hal-02072868.

MARM (2011). Real Decreto 60/2011, de 21 de enero, sobre las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. BOE núm. 19, de 22 de enero de 2011.

Mayer, A., Hassanizadeh, S.M. (2005). Soil and groundwater contamination: Nonaqueous Phase Liquids - Principles and Observations. Water Resources Monograph 17 American Geophysical Union. 218 pp.

MENODES, UPM (2018). Ensayos en el Vertedero de Sardas Junio-Julio 2018. Parte 3: "Validación de técnicas geofísicas y geoquímicas en la caracterización y monitorización de la contaminación antes, durante y después de un tratamiento de remediación. MENODES (UPM) para EMGRISA, septiembre de 2018.

MITECO (2021). Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. Acceso (2021/06/18) <https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/gestion-de-los-riesgos-de-inundacion/snczi/>.

MSC (2008). Guía de enfermedades infecciosas importadas. Ministerio de Sanidad y Consumo. NIPO 351-08-057-X.

Navarro, I., De la Torre, A., Sanz, P., Arjol, M.A. Fernandez, J., y Martinez, M.A. (2019). Organochlorine pesticides air monitoring near a historical lindane production site in Spain. *Science of the Total Environment* (670), pp. 1001-1007.

NTP (2016). 14th Report on carcinogens. Lindane, hexachlorocyclohexane (technical grade), and other hexachlorocyclohexane isomers. CAS No. 58-89-9.

Pankow, J.F., Cherry J.A. (1996). Dense Chlorinated Solvents and other DNAPLs in Groundwater: History, Behavior, and Remediation. Waterloo Press, Ontario, Canada, 538 pp.

Peña, J.L., Sancho, C. Lewis, Ch., Mcdonald, E., Rhodes, E. (2004). Datos cronológicos de las morrenas terminales del glaciar del Gállego y su relación con las terrazas fluvio-glaciares (Pirineo de Huesca). En *Geografía Física de Aragón, Aspectos generales y temáticos*. Universidad de Zaragoza e instituto Fernando el Católico. Eds. Peña, J.L., Longares, M.A. y Sánchez, M.

Rivett, M.O., Wealthall, G.P., Dearden, R.A. y McAlary, T.A. (2011). Review of unsaturated-zone transport and attenuation of volatile organic compound (VOC) plumes leached from shallow source zones. *Journal of Contaminat Hydrology* (123), pp. 130-156.



Rojas, R. (2016). Desarrollo de métodos para la reducción de la contaminación por plaguicidas en aguas subterráneas mediante la adición de residuos orgánicos a los suelos. 2016. Tesis Doctoral. Dpto. de Ingeniería Química y Ambiental. Escuela Técnica Superior de Ingenieros. Universidad de Sevilla, febrero 2016.

Stroo, H.F., Ward C. H. (2010). In Situ Remediation of Chlorinated Solvent Plumes. U.S. Department of Defense Strategic Environmental Research & Development Program (SERDP) and Environmental Security Technology Certification Program (ESTCP) Remediation Technology Monograph Series, Springer, 823 pp.

TPA (1991). Actuaciones realizadas en la ejecución de la primera fase del proyecto de recuperación de la cuenca alta del río Gállego. Informe Final Fase I. Diputación General de Aragón.

URS (2009). Estudio batimétrico y de caracterización de sedimentos del embalse de Sabiñánigo. United Research Services España, S.L., enero 2009.

Willett et al (1998). Differential toxicity and environmental fates of hexachlorocyclohexane isomers. Env.. Sci. Tech. (Vol.32-15), pp. 2197-2207.

Wilson, J.L. y Conrad, S.H. (1984). Is physical displacement of residual hydrocarbons a realistic possibility in aquifer restoration? Proceedings of the NWWA/API Conference on Petroleum Hydrocarbons and Organic Chemicals in Ground Water. Houston, Texas. National Water Well Association, Worthington, OH., November 5-7 1984.

WMO (1992). International Programme on Chemical Safety, Alpha- and Beta-Hexachlorocyclohexanes, Environmental Health Criteria 123, World Health Organization. Geneva, 992. Acceso (2021/07/05) <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc123.htm>.



8 EQUIPO DE TRABAJO

El presente informe ha sido realizado por el siguiente equipo de trabajo del Área de Aplicaciones Isotópicas del Centro de Estudios y Técnicas Aplicadas (CETA) y del Área de Geotecnia Aplicada del Laboratorio de Geotecnia (LG) del CEDEX:

- Javier Álvarez Rodríguez. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Coordinador Técnico Científico del Área de Aplicaciones Isotópicas del CETA-CEDEX, actualmente en la Dirección General de Agua. Responsable del encargo por parte del CEDEX hasta junio de 2021.
- Enrique Asanza Izquierdo. Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos. Jefe del Área de Geotecnia Aplicada del LG-CEDEX.
- Silvino Castaño Castaño. Doctor en Ciencias Geológicas. Coordinador Técnico Científico del Área de Aplicaciones Isotópicas del CETA-CEDEX
- Emilia Jiménez Hernández. Doctora en Químicas. Contratado I+D+i del CETA-CEDEX.
- Miriam Martín Ruiz. Licenciada en Geología, Máster en Ingeniería Geológica y Doctora en Ingeniería de Estructuras, Cimentaciones y Materiales. Contratado I+D+i del LG-CEDEX.
- Rafael Rodríguez Abad. Licenciado en Química y Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. Director de Programa del LG-CEDEX.
- Javier Rodríguez Arévalo. Doctor en Ciencias Geológicas. Jefe de Área de Aplicaciones Isotópicas del CETA-CEDEX
- Rubén Ruiz Bravo. Licenciado en Física y Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. Director de Programa del LG-CEDEX.
- Ángel Tijera Carrión. Licenciado en Física y Máster en Mecánica del Suelo e Ingeniería Geotécnica. Director de Programa del LG-CEDEX.

La recopilación y organización de los datos contenidos en las memorias anuales de gestión de Sardas publicadas por el Gobierno de Aragón ha sido realizada por Dña. Mercedes Montero Rumbao, personal administrativo del CEDEX.

En los trabajos de caracterización química de los contaminantes del vertedero ha colaborado Ana Belén Mancheño Belda, estudiante en prácticas del Grado de Ingeniería Química de la Universidad Complutense de Madrid (UCM) conforme al convenio en Resolución de 17 de noviembre de 2020 del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, O.A., M.P., por la que se publica el Convenio con la Universidad Complutense de Madrid, para el desarrollo de programas de cooperación educativa suscrito por el CEDEX y la UCM (BOE 30 de noviembre 2020, 15258).



En Madrid, marzo de 2022.

Los autores del informe

D. Enrique Asanza Izquierdo
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe del Área de Geotecnia Aplicada

D. Silvino Castaño Castaño
Doctor en Ciencias Geológicas
Coordinador de Programa Técnico y Científico

Dña. Miriam Martín Ruiz
Doctora en Ingeniería de Estructuras,
Cimentaciones y Materiales
Contratado I+D+i

D. Rafael Rodríguez Abad
Licenciado en Química
Director de Programa

D. Javier Rodríguez Arévalo
Doctor en Ciencias Geológicas
Jefe de Área de Aplicaciones Isotópicas

Examinado y conforme:

D. Javier Rodríguez Arévalo
Doctor en Ciencias Geológicas
Jefe de Área de Aplicaciones Isotópicas

D. Enrique Asanza Izquierdo
Doctor Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos
Jefe del Área de Geotecnia Aplicada

INFORME TÉCNICO
para
CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

**ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN
POR LINDANO DEL VERTEDERO DE SARDAS
(SABIÑÁNIGO) EN EL RÍO GÁLLEGO**

ANEJOS

Clave CEDEX: 52-821-1-001

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas



ANEJOS

ANEJO I BASE DE DATOS DE HIDROMETEOROLOGÍA: HIDROMETEO.ACCDB

ANEJO II BASE DE DATOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SEDIMENTOS Y SUELOS: SEDIMENTOS.ACCDB

ANEJO III BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: SUBTERRÁNEAS.ACCDB

ANEJO IV BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES: SUPERFICIALES.ACCDB

ANEJO V GEOLOGÍA

V.1 GEOLOGÍA REGIONAL

V.2 VERTEDERO DE SARDAS

V.2.1 *Vertedero*

V.2.1.1 Generalidades

V.2.1.2 Relleno

V.2.1.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

V.2.1.4 Formación Margas de Larrés

V.2.2 *Pantalla*

V.2.2.1 Generalidades

V.2.2.2 Relleno

V.2.2.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

V.2.2.4 Margas

V.2.3 *Parcelas al pie del vertedero*

V.2.3.1 Generalidades

V.2.3.2 Relleno

V.2.3.3 Fondo de Valle. Limos arcillosos

V.2.3.4 Depósitos aluviales. Gravas y arenas

V.2.3.5 Marga alterada

V.2.3.6 Margas

V.3 PRESA Y EMBALSE DE SABIÑÁNIGO

V.3.1 *Generalidades*

V.3.2 *Sondeos en el embalse*

V.3.3 *Sedimentos aluviales actuales*

V.3.4 *Depósitos aluviales. Gravas y arenas*

V.3.5 *Arenisca margosa*

V.3.6 *Sondeos en la orilla del embalse*

ANEJO VI LITOLOGÍA DE SUELOS

ANEJO VII REPRESENTACIÓN DE SONDEOS CON VOXLER

ANEJO VIII HIDROMETEOROLOGÍA

VIII.1 CARACTERIZACIÓN DEL CLIMA

VIII.2 ESQUEMA HIDRÁULICO Y GESTIÓN DE LA CENTRAL HIDROELÉCTRICA

VIII.3 BALANCE HÍDRICO DE LA CUENCA APORTADORA AL VERTEDERO DE SARDAS

VIII.4 PIEZOMETRÍA

ANEJO IX ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL VERTEDERO DE SARDAS

IX.1 CARACTERIZACIÓN BÁSICA DEL LINDANO, PRODUCCIÓN Y GENERACIÓN DE RESIDUOS

IX.2 CONTAMINANTES PRESENTES EN EL VERTEDERO DE SARDAS

IX.3 PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DE LAS FASES DNAPL Y LNAPL DE SARDAS

IX.4 VÍAS DE DEGRADACIÓN DE RESIDUOS DE HCH

ANEJO X ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN RELLENOS Y LIMOS

ANEJO XI ANÁLISIS DE ISÓMEROS DE HCH EN AGUA Y SEDIMENTOS



CEDEX



ANEJO I BASE DE DATOS DE HIDROMETEOROLOGÍA: HIDROMETEO.ACCDB



CEDEX

ANEJO I. BASE DE DATOS DE HIDROMETEOROLOGÍA: HIDROMETEO.ACcdb

La base de datos Hidrometeo.accdb integra datos meteorológicos de la estación que EMGRISA dispone en el vertedero de Sardas y los de AEMET y datos de aforos y de niveles de embalse del Sistema Automático de Información Hidrológica (SAIH) registrados en la cuenca del Gállego próxima a Sabiñánigo por la CHE. Se ha estructurado considerando una tabla de características generales de las estaciones de medida o cabeceras. Relacionada con esta tabla a través del código están las tablas de series temporales de registros.

La Figura A1.1 muestra las tablas que la forman y las relaciones establecidas entre las tablas de la base de datos en función del código numérico de las series.

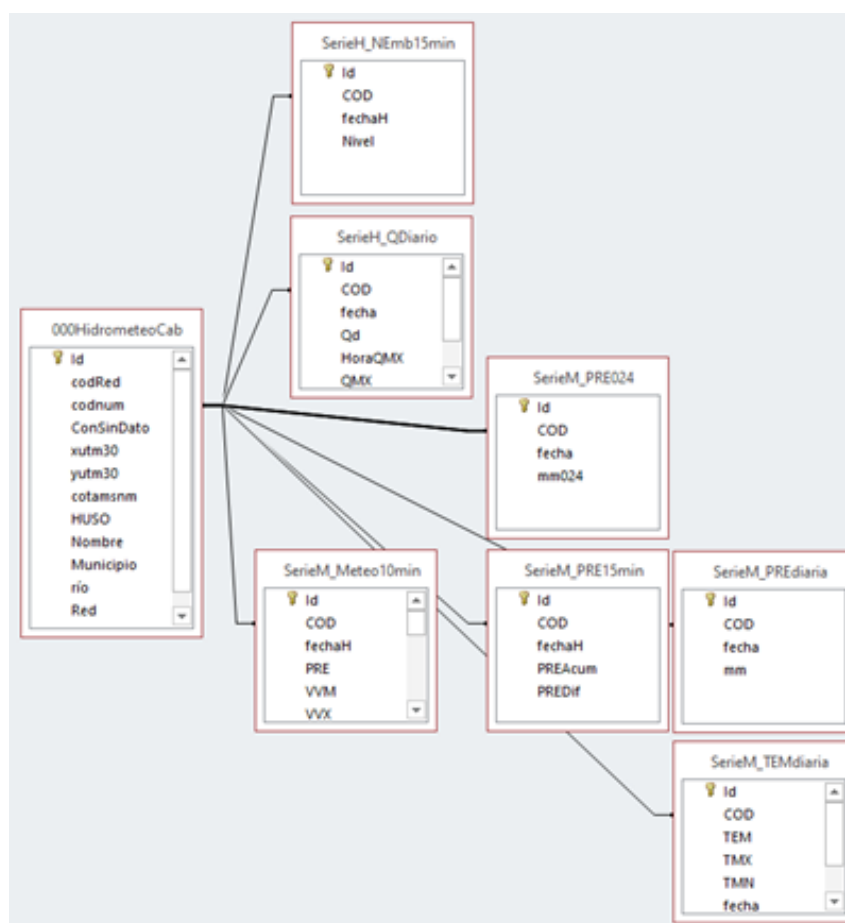


Figura A1.1. Relaciones en la base de datos Hidrometeo.accdb

La Tabla A1.1 muestra las estaciones meteorológicas y de aforo en ríos, canales hidroeléctricos (CH) y embalses incluidas como cabeceras. Es información que en la base de datos está almacenada en la tabla "HidrometeoCab".

Las series de datos meteorológicos de AEMET cuentan con varias versiones que en la base de datos que se corresponden con las series 9460, 94601 y 94602. Los datos descargados de la web <https://datosclima.es/> tienen código 9460. Según sus autores son datos de AEMET. Los datos enviados por AEMET al CEDEX de la estación histórica de Sabiñánigo y con registros hasta el año 2015 tienen código

94601; los de la estación más reciente de AEMET, 94602. Se ha considerado oportuno conservar ambas fuentes de información por ser el reflejo de las labores de corrección realizadas sobre los datos meteorológicos.

La Figura A1.2 muestra la localización de las estaciones meteorológicas, de aforo y de medida del nivel del agua, más cercanas al vertedero de Sardas. La selección de estaciones de aforo y nivel del agua sigue el criterio de poder manejar datos hidrológicos relacionados con datos de calidad registrados alguna vez en aguas superficiales, con objeto de hacer balances de masa, especialmente en aquellos puntos más cercanos al embalse de Sabiñánigo en los que el origen del agua y los solutos sea atribuible inequívocamente a una aportación al embalse aguas arriba de la presa.



Figura A1.2. Localización de las estaciones hidrometeorológicas próximas al vertedero de Sardas

El paso temporal de cada serie es constante y se indica en la denominación de cada tabla, pudiendo ser diario, quiceminutal o diezminutal. En concreto:

- SerieH_NEmb15min. Series hidráulica de niveles de embalse registrados cada 15 minutos;
- SerieH_QDiario. Serie de caudales registrados en las estaciones de aforo. Varios registros correspondientes a la fecha del día, caudal medio diario y caudales máximos y mínimos diarios con las horas de registro;
- SerieM_Meteo10min. Serie de variables meteorológicas (precipitación, temperatura, velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar y evaporación) diezminutal;
- SerieM_PRE15min. Serie de precipitación quiceminutal;
- SerieM_PRE024. Serie de precipitación registrada de 0 a 24 h;



- SerieM_PREdiaria. Serie de precipitación diaria registrada de 9:00 a 9:00 h;
- SerieM_TEMdiaria. Serie de temperaturas media, máxima y mínima diarias registradas de 9:00 a 9:00 h.

Hay 2 tablas descriptivas. La tabla "000HidrometeoCamposCab" describe los campos considerados en la tabla de cabeceras y "000UnidHidroMeteo" indica las unidades de cada una de las variables consideradas.

Finalmente, la base de datos ACCESS se completa con 3 operaciones de consulta de las tablas de precipitación (SerieM_PREdiaria), caudal (SerieH_QDiario) y temperatura media diaria (SerieM_TEMdiaria). Estas consultas permiten realizar las exportaciones de los registros con fecha y coordenadas.

Tabla A1.1. Red hidrometeorológica seleccionada en la cuenca del Gállego y próxima al embalse de Sabiñánigo

Código SAIH	Código Numérico	Río o cuenca	XUTM30	YUTM30	Cota (msnm)	Descripción	Tipo
9460X	99460	Gállego	717246	4710102	797	AEMET. Sabiñánigo. Precipitación y temperatura diaria. Descarga de https://datosclima.es/ . Registros desde mayo de 2013	Meteo
9460	994601	Gállego	717017	4710621	790	AEMET. Sabiñánigo. Precipitación, intensidad máxima y temperatura diaria. Periodo de medida: 01/01/1941-30/09/2015	Meteo
9460X	994602	Gállego	717246	4710102	775	AEMET. Sabiñánigo. Precipitación, intensidad máxima y temperatura diaria. Registros desde 01/06/2004	Meteo
A319	91319	Gállego	715847	4707526	730	SAIH. Sabiñánigo. Precipitación diaria y quinceminutal	Meteo
EM35	93035	Gállego	719587	4730915	1 189	SAIH. Búbal. Precipitación y temperatura diaria	Meteo
P092	94092	Gállego	722616	4733918	1 238	SAIH. Panticosa. Precipitación diaria	Meteo
P114	94114	Sía	725509	4721858	1 178	SAIH. Yésero. Precipitación diaria	Meteo
P115	94115	Aurín	712959	4719555	1 026	SAIH. Isín. Precipitación diaria	Meteo
R049	95049	Gállego	716974	4725017	1 812	SAIH. Betés. Precipitación diaria	Meteo
ND	99001	Gállego	718361	4710324	815	EMGRISA. Vertedero de Sardas. Precipitación, velocidad del viento media, máxima y significativa, dirección del viento media, máximo y significativa, presión atmosférica media, punto de rocío medio, evaporación media, radiación global media y máxima, temperatura del aire media, máxima y mínima y humedad relativa media diezminutales	Meteo
A309	90309	Gállego	718110	4738654	1 275	SAIH. AFORO. Río Gállego en Sallent de Gállego	Hidrológica
A250	90250	Gállego	719950	4728818	1 010	SAIH. AFORO. Río Gállego aguas abajo de Búbal en Hoz de Jaca	Hidrológica
A319"	90319	Gállego	715847	4707526	730	SAIH. AFORO. Estación de aforos en el Gállego aguas arriba del barranco de Bailín en Sabiñánigo. Caudal río	Hidrológica
CH46	90046	Gállego	715795	4706727	740	SAIH. AFORO. Caudal turbinado en central hidroeléctrica en Sabiñánigo. Coincidiría con "92319-90319"	Hidrológica
CH46	92046	Gállego	715795	4706727	740	SAIH. Niveles de embalse en Sabiñánigo	Hidrológica
A319	92319	Gállego	715847	4707526	730	SAIH. Serie COMPUESTA. Salida de Sabiñánigo. Caudal río más el turbinado: 90319+92046	Hidrológica
A312	90312	Bailín	716128	4707348	762	SAIH. AFORO. Estación de aforos en el barranco de Bailín	Hidrológica
E274	90274	Gállego	714819	4705754	735	SAIH. Embalse de Jabarella	Hidrológica
A123	90123	Gállego	693300	4697550	580	SAIH. AFORO. Río Gállego en Anzánigo en Caldearenas	Hidrológica
E036	90036	Gállego	686424	4695296	541	SAIH. Embalse de La Peña	Hidrológica
A059	90059	Gállego	685427	4682224	427	SAIH. AFORO. Río Gállego en Santa Eulalia	Hidrológica
A012	90012	Gállego	685711	4671428	391	SAIH. AFORO. Río Gállego en Ardisa. Aguas abajo del embalse de Ardisa	Hidrológica



CEDEX



ANEJO II BASE DE DATOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SEDIMENTOS Y SUELOS: SEDIMENTOS.ACCDB



CEDEX

ANEJO II. BASE DE DATOS FÍSICO-QUÍMICOS DE SEDIMENTOS Y SUELOS: SEDIMENTOS.ACCDB

La base de datos de sedimentos contiene información de la concentración de compuestos químicos en muestras de suelo y sedimentos tomadas en el embalse y en el vertedero de Sardas principalmente. La estructura de la base es similar a las anteriores. En primer lugar, se ha definido una tabla con las características de localización y definición de los puntos de muestreo (Tabla A2.1). Los puntos que coinciden con los del muestreo de aguas subterráneas conservan el mismo código en ambas tablas. La Figura A2.1 muestra el conjunto de localizaciones de las prospecciones realizadas en Sardas (un total de 187) y el subconjunto de las que se ha tomado muestras sólidas (97) para el análisis de parámetros químicos en muestras de suelo y sedimentos.

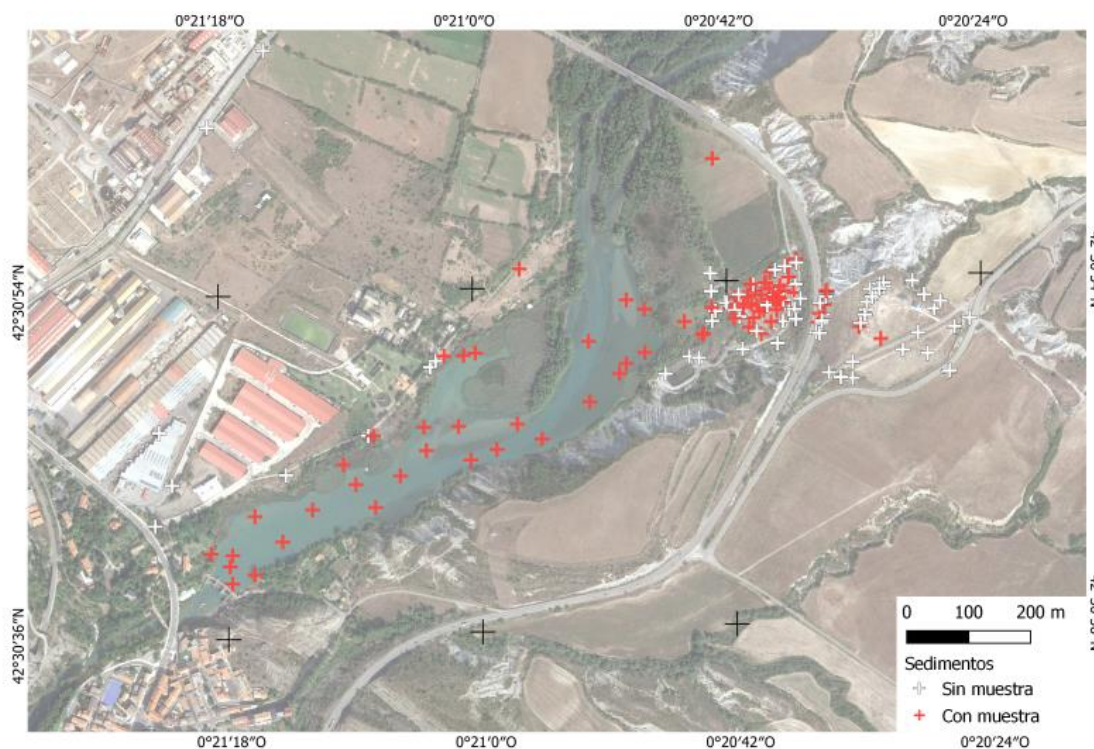


Figura A2.1. Red de sondeos con y sin muestreo de sedimentos y suelos en Sabiñánigo y Sardas

La base contiene además los datos de las litologías atravesadas durante la perforación de los sondeos. Del total de los 187 sondeos considerados, se dispone de 168 sondeos con una descripción de la litología atravesada. La mayor parte de ellos están concentrados en el área del vertedero de Sardas.

En segundo lugar, se dispone de las tablas con las fechas, profundidades y datos de los parámetros químicos muestreados en suelos y sedimentos. Hay tantas tablas como parámetros químicos. Las fechas y profundidades son únicas y corresponden a la fecha de la excavación y a la de localización de la muestra desde superficie. Las diferentes fechas abarcan desde octubre del 2009 hasta abril 2019, aunque existen también muestras de octubre de 1989 y abril de 1990 a lo largo del Gállego.

Entre las tablas descriptivas tiene mayor importancia la de definición de los parámetros químicos muestreados que, en el caso de las muestras de sedimentos, llegan a ser de 269 parámetros químicos que se agrupan en las mismas clases consideradas que en las aguas subterráneas (Tabla A2.2).



Tabla A2.1. Datos de sedimentos y litologías en la base de datos "Sedimentos.accdb"

Sedimento	Litología	CODNUM	COD	XUTM	YUTM	CotaSuelo	PROFTOT	TIPO
No	Sí	2909060059	2909-6-0059	717210	4710043	775,69	10,20	SONDEO
No	Sí	2909060060	2909-6-0060	717183	4709977	774,15	9,50	SONDEO
No	Sí	2909060061	2909-6-0061	717266	4710622	782,24	11,20	SONDEO
No	Sí	2909060083	2909-6-0083	717189	4710128	771,00	11,20	SONDEO
No	Sí	2909070046	2909-7-0046	718088	4710326	766,88	9,50	SONDEO
No	Sí	2909070047	2909-7-0047	717646	4710252	768,77	6,00	SONDEO
No	Sí	2909070048	2909-7-0048	717527	4710124	766,35	7,00	SONDEO
No	Sí	2909070049	2909-7-0049	717357	4710747	783,64	14,80	SONDEO
No	Sí	2909070059	2909-7-0059	717627	4710235	765,00	4,10	SONDEO
No	Sí	2909070060	2909-7-0060	717636	4710245	766,00	4,10	SONDEO
Sí	Sí	9000000001	SE-1	717308	4709884	764,00	15,45	SONDEO
Sí	Sí	9000000002	SE-2	717308	4709930	764,00	19,15	SONDEO
Sí	Sí	9000000003	SE-3	717389	4709952	764,00	13,20	SONDEO
Sí	Sí	9000000004	SE-4	717344	4709993	764,00	15,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000005	SE-5	717437	4710004	764,00	13,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000006	SE-6	717539	4710008	764,00	10,10	SONDEO
Sí	Sí	9000000007	SE-7	717507	4710045	764,00	11,90	SONDEO
Sí	Sí	9000000008	SE-8	717579	4710059	764,00	11,15	SONDEO
Sí	Sí	9000000009	SE-9	717621	4710100	764,00	9,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000010	SE-10	717735	4710102	764,00	9,25	SONDEO
Sí	Sí	9000000011	SE-11	717808	4710119	765,00	8,90	SONDEO
Sí	Sí	9000000012	SE-12	717673	4710139	765,00	9,05	SONDEO
Sí	Sí	9000000013	SE-13	717768	4710143	765,00	8,55	SONDEO
Sí	Sí	9000000014	SE-14	717885	4710179	765,00	9,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000017	SE-17	717933	4710225	765,00	7,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000018	SE-18	717617	4710138	765,00	12,95	SONDEO
Sí	Sí	9000000019	SE-19	717700	4710258	765,00	11,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000020	SE-20	717883	4710277	765,00	7,75	SONDEO
Sí	Sí	9000000021	SE-21	717974	4710259	765,00	6,65	SONDEO
Sí	Sí	9000000023	SE-23	717944	4710344	765,00	5,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000031	ST1	718082	4710332	766,11	9,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000032	ST2	718083	4710573	769,30	11,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000033	ST3	717649	4710253	768,38	6,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000034	ST4	717535	4710124	766,35	7,00	SONDEO
No	Sí	9000000035	ST5	717394	4710060	772,64	6,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000036	ST6	717771	4710394	771,50	5,40	SONDEO
No	Sí	9000000037	PS1	718189	4710274	776,15	5,00	SONDEO



Sedimento	Litología	CODNUM	COD	XUTM	YUTM	CotaSuelo	PROFTOT	TIPO
No	Sí	9000000038	PS2	718132	4710264	770,97	5,00	SONDEO
No	Sí	9000000039	PS3	718046	4710252	766,43	14,00	SONDEO
No	Sí	9000000041	PS5	718212	4710345	775,42	17,60	BOMBEO
No	Sí	9000000042	PS6	718197	4710310	775,58	13,30	SONDEO
No	Sí	9000000043	PS7	718207	4710329	775,34	20,10	SONDEO
No	Sí	9000000044	PS8	718216	4710370	775,15	21,00	BOMBEO
No	Sí	9000000045	PS9	718217	4710370	775,03	9,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000049	PS13	718219	4710411	774,66	16,20	SONDEO
Sí	Sí	9000000050	PS14	718189	4710351	774,16	18,00	BOMBEO
Sí	Sí	9000000051	PS15	718215	4710356	775,01	20,00	BOMBEO
Sí	Sí	9000000052	PS16	718134	4710348	771,55	21,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000053	PS17	718159	4710325	773,28	18,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000054	PS18	718168	4710372	772,56	16,60	SONDEO
Sí	Sí	9000000055	PS19	718196	4710339	774,54	31,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000056	PS20	718146	4710337	772,42	19,20	SONDEO
Sí	Sí	9000000057	PS21	718151	4710359	772,30	30,80	BOMBEO
Sí	Sí	9000000058	PS22	718254	4710308	789,72	24,20	SONDEO
Sí	Sí	9000000059	PS23	718257	4710337	788,21	18,00	BOMBEO
Sí	Sí	9000000060	PS24	718192	4710367	774,07	35,70	SONDEO
No	Sí	9000000063	S30	718391	4710264	814,40	40,30	SONDEO
No	Sí	9000000064	S31	718415	4710292	816,16	16,00	SONDEO
No	Sí	9000000065	S32	718431	4710258	816,99	40,20	SONDEO
No	Sí	9000000066	S32B	718466	4710229	816,73	30,00	SONDEO
No	Sí	9000000067	S32C	718465	4710228	816,65	42,00	SONDEO
No	Sí	9000000068	S33	718475	4710301	820,81	10,10	SONDEO
No	Sí	9000000069	S33B	718474	4710302	820,86	4,50	SONDEO
No	Sí	9000000070	S34	718331	4710328	814,17	38,40	SONDEO
No	Sí	9000000071	S35	718442	4710331	818,70	14,40	SONDEO
No	Sí	9000000072	S35B	718425	4710353	818,22	13,50	SONDEO
No	Sí	9000000073	S35C	718453	4710341	820,23	14,50	SONDEO
No	Sí	9000000074	S35D	718451	4710343	820,17	3,90	SONDEO
No	Sí	9000000075	S36	718260	4710306	790,10	19,60	SONDEO
No	Sí	9000000076	S37	718262	4710320	789,10	25,00	BOMBEO
No	Sí	9000000077	S38	718263	4710339	788,73	30,60	SONDEO
No	Sí	9000000078	S38B	718263	4710337	788,76	37,50	SONDEO
No	Sí	9000000079	S39	718349	4710356	815,17	33,20	SONDEO
No	Sí	9000000080	S41	718310	4710244	809,10	15,20	SONDEO
No	Sí	9000000081	S41B	718272	4710227	807,43	14,10	SONDEO
No	Sí	9000000082	S41C	718310	4710218	808,47	15,00	SONDEO



Sedimento	Litología	CODNUM	COD	XUTM	YUTM	CotaSuelo	PROFTOT	TIPO
Sí	Sí	9000000083	C6	718194	4710342	774,98		CALICATA
Sí	Sí	9000000084	C7	718162	4710289	773,97		CALICATA
No	Sí	9000000085	C8	718103	4710341	769,75		CALICATA
Sí	Sí	9000000086	C9	718119	4710348	770,68		CALICATA
Sí	Sí	9000000087	C10	718113	4710330	770,65		CALICATA
Sí	Sí	9000000088	C12	718133	4710332	772,26		CALICATA
Sí	Sí	9000000089	C13	718140	4710352	772,16		CALICATA
No	Sí	9000000090	C14	718149	4710369	771,88		CALICATA
Sí	Sí	9000000091	C15	718143	4710300	773,04		CALICATA
Sí	Sí	9000000092	C16	718173	4710344	774,03		CALICATA
Sí	Sí	9000000093	C17	718162	4710352	773,14		CALICATA
Sí	Sí	9000000094	C18	718187	4710328	774,94		CALICATA
Sí	Sí	9000000095	C19	718198	4710359	774,74		CALICATA
Sí	Sí	9000000096	C20	718175	4710362	773,72		CALICATA
Sí	Sí	9000000097	C21	718166	4710328	773,91		CALICATA
Sí	Sí	9000000098	C22	718155	4710335	773,34		CALICATA
Sí	Sí	9000000099	C23	718150	4710315	773,50		CALICATA
Sí	Sí	9000000100	C24	718206	4710381	774,89		CALICATA
Sí	Sí	9000000101	C25	718169	4710372	773,22		CALICATA
Sí	Sí	9000000102	C26	718176	4710389	772,90		CALICATA
Sí	Sí	9000000103	C27	718206	4710400	774,82		CALICATA
Sí	Sí	9000000104	C28	718178	4710309	775,28		CALICATA
No	Sí	9000000105	C11	718127	4710317	771,49		CALICATA
Sí	Sí	9000000106	PS7B	718215	4710330	776,16	13,50	SONDEO
No	Sí	9000000107	PS7C	718216	4710329	776,20	6,80	SONDEO
No	Sí	9000000108	PS16B	718107	4710340	769,45	28,80	SONDEO
No	Sí	9000000109	PS16C	718106	4710339	769,38	12,00	SONDEO
No	Sí	9000000110	PS16D	718126	4710353	770,56	12,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000111	PS16E	718122	4710337	770,85	13,30	SONDEO
No	Sí	9000000112	PS16F	718119	4710328	770,47	12,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000113	PS16G	718118	4710314	770,89	12,50	SONDEO
No	Sí	9000000114	PS17B	718172	4710336	773,54	39,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000115	PS19B	718197	4710345	774,33	13,50	SONDEO
No	Sí	9000000116	PS19C	718198	4710344	774,43	11,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000117	PS21B	718145	4710369	771,06	13,20	SONDEO
No	Sí	9000000118	PS25	718183	4710392	772,99	40,60	SONDEO
No	Sí	9000000119	PS25B	718184	4710393	773,10	13,00	SONDEO
No	Sí	9000000120	PS26	718078	4710388	766,72	9,10	SONDEO
No	Sí	9000000121	PS26B	718078	4710389	766,73	43,60	SONDEO



Sedimento	Litología	CODNUM	COD	XUTM	YUTM	CotaSuelo	PROFTOT	TIPO
No	Sí	9000000122	PS26C	718080	4710387	766,74	23,30	SONDEO
No	Sí	9000000123	PS27	718155	4710294	773,18	25,00	SONDEO
No	Sí	9000000124	PS28	718217	4710312	776,62	19,70	SONDEO
No	Sí	9000000125	PS28B	718218	4710313	776,59	12,80	SONDEO
No	Sí	9000000126	PS29	718225	4710344	776,25	19,00	SONDEO
No	Sí	9000000127	PS29B	718225	4710345	776,32	11,80	SONDEO
No	Sí	9000000128	PS29C	718225	4710346	776,27	5,00	SONDEO
No	Sí	9000000129	ST1B	718081	4710358	767,09	9,00	SONDEO
No	Sí	9000000130	ST1C	718083	4710310	766,40	8,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000131	ST1D	718069	4710290	766,08	6,60	SONDEO
Sí	Sí	9000000132	ST1E	718067	4710287	766,00	9,60	SONDEO
No	Sí	9000000133	S2B	718499	4710316	822,84		SONDEO
No	Sí	9000000134	S32D	718467	4710230	816,72	7,30	SONDEO
No	Sí	9000000135	S35E	718407	4710373	810,41	17,50	SONDEO
No	Sí	9000000136	S35F1	718406	4710376	810,45	3,30	SONDEO
No	Sí	9000000137	S35F2	718406	4710376	810,45	6,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000138	S37B	718256	4710322	788,76	20,00	SONDEO
No	Sí	9000000139	S39B	718333	4710341	814,67	41,00	BOMBEO
No	Sí	9000000140	S39C	718338	4710362	815,28	30,40	BOMBEO
No	Sí	9000000141	S39D	718353	4710370	815,32	39,00	BOMBEO
No	Sí	9000000142	S39E	718360	4710366	815,38	34,50	BOMBEO
No	Sí	9000000143	S39F	718346	4710355	815,12	40,30	BOMBEO
No	Sí	9000000144	S39G	718341	4710349	815,06	39,50	BOMBEO
No	Sí	9000000145	S39H	718360	4710372	815,38	35,20	BOMBEO
No	Sí	9000000146	S39I	718353	4710362	815,26	37,40	BOMBEO
No	Sí	9000000147	S40	718268	4710357	786,29	28,00	SONDEO
No	Sí	9000000148	S40B	718268	4710359	786,25	16,80	SONDEO
No	Sí	9000000149	S41D	718291	4710219	807,69	9,30	SONDEO
No	Sí	9000000150	S42	718251	4710292	790,38	14,40	SONDEO
No	Sí	9000000151	S42B	718256	4710290	790,86	14,40	SONDEO
Sí	Sí	9000000152	S43	718320	4710301	812,70	39,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000153	S43B	718355	4710282	812,15	31,31	SONDEO
Sí	Sí	9000000162	S38C	718263	4710336	788,75	9,40	SONDEO
No	Sí	9000000167	PS13B	718219	4710404	774,99	43,70	SONDEO
Sí	Sí	9000000168	PS25D	718201	4710399	774,03	45,30	SONDEO
No	Sí	9000000169	PS25C	718200	4710399	773,99	24,00	SONDEO
No	Sí	9000000170	PS3B	718062	4710250	769,32	11,40	SONDEO
No	Sí	9000000171	ST1F	718007	4710224	768,98	14,40	SONDEO
No	Sí	9000000172	S36B	718260	4710310	789,81	20,20	SONDEO



Sedimento	Litología	CODNUM	COD	XUTM	YUTM	CotaSuelo	PROFTOT	TIPO
No	Sí	9000000173	PS23B	718257	4710339	788,13	11,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000174	PS14B	718186	4710349	773,97	16,50	SONDEO
No	Sí	9000000175	PS14C	718185	4710352	773,94	16,30	SONDEO
Sí	Sí	9000000176	PS14D	718184	4710348	773,96	16,00	BOMBEO
No	Sí	9000000177	SO1	718329	4710320	814,30	40,45	Sondeo oblicuo 19,8°
No	Sí	9000000178	SO2	718323	4710307	812,65	40,97	Sondeo oblicuo 38,0°
No	Sí	9000000179	SO3	718266	4710349	787,65	24,28	Sondeo oblicuo 48,7°
Sí	Sí	9000000180	PS14E	718186	4710346	774,11	17,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000181	PS14F	718181	4710349	773,86	17,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000182	PS14G	718184	4710345	774,07	16,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000183	PS14H	718181	4710346	773,96	17,00	SONDEO
Sí	Sí	9000000184	PS14I	718189	4710348	774,13	16,80	SONDEO
Sí	Sí	9000000185	PS14J	718189	4710345	774,21	16,60	SONDEO
Sí	Sí	9000000186	PS14K	718186	4710344	774,16	16,50	SONDEO
Sí	Sí	9000000187	PS14L	718192	4710347	774,28	16,70	SONDEO
Sí	No	9000000188	PS14M	718191	4710349	774,23		SONDEO
Sí	No	9000000202	CEH221	713201	4719695			CALICATA
Sí	No	9000000204	CEH208	718038	4710309			CALICATA
Sí	No	9000000205	CEH201	717681	4710254			CALICATA
Sí	No	9000000206	CEH202	717273	4709932			CALICATA
Sí	No	9000000207	CEH203	717944	4710241			CALICATA
Sí	No	9000000208	CEH206	717693	4710085			CALICATA
Sí	No	9000000209	CEH204	717344	4709899			CALICATA
Sí	No	9000000210	CEH205	717304	4709912			CALICATA
Sí	No	9000000211	CEH207	717973	4710329			CALICATA
Sí	No	9000000212	CEH211	715055	4705735			CALICATA
Sí	No	9000000213	CEH212	714737	4705648			CALICATA
Sí	No	9000000214	CEH213	714651	4705570			CALICATA
Sí	No	9000000216	CEH209	717487	4710077			CALICATA
Sí	No	9000000221	CEH231	717371	4706822			SONDEO
Sí	No	9000000222	HIN1	718267	4710359			HINCA
Sí	No	9000000223	HIN2	718267	4710359			HINCA
Sí	No	9000000224	HIN3	718267	4710359			HINCA



Tabla A2.2. Parámetros químicos de la base de datos "Sedimentos.accdb"

COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Ct
ACT1	67-64-1	Acetona	mg/kg	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ALD1	309-00-2	Aldrín	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AMS1		Arcilla % de materia seca	%peso MS	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AN01	120-12-7	AntraceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
AN02	56-55-3	Benzo(a) antraceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
AN03	53-70-3	Dibenzo(a,h) antraceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
AS01	7440-38-2	Arsénico	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AT01	1912-24-9	Atrazina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AZ01	2642-71-9	Azinfos etil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AZ02	86-50-0	Azinfos metil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B001	71-43-2	BenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
B002	98-82-8	IsopropilbenceNO (cumeNO)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B003	95-63-6	1.2.4-TrimetilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B004	108-67-8	1.3.5-TrimetilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B005	103-65-1	n-PropilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B006	104-51-8	n-ButilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B007	135-98-8	sec-ButilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B008	98-06-6	tert-ButilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BA01	7440-39-3	Bario	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BCM1	124-48-1	DibromoclorometaNO	mg/kg	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BCM2	75-27-4	BromodichlorometaNO o DiclorobromometaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BCP1	96-12-8	1.2-Dibromo-3-cloropropaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BF01	205-99-2	Benzo(b)fluoranteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BF02	207-08-9	Benzo(k)fluoranteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BFN1	92-52-4	Bifenilo	mg/kg	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BFN2	82657-04-3	Bifentrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BL01	7440-41-7	Berilio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BM02	74-95-3	DibromometaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BM03	106-93-4	1.2-DibromoetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BO01	7440-42-8	Boro	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BP01	50-32-8	Benzo(a)pireNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BP02	191-24-2	Benzo(ghi)perileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BR01	75-25-2	Bromoformo o TribromometaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BR02	108-86-1	BromobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BR03	37370-22-2	Bromofos-etil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BR04	2104-96-3	Bromofos-metil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BTX1		BTEX	mg/kg	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
CB01	108-90-7	ClorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB02	108-90-7	MoNOclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB03	541-73-1	1.3-DiclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB04	106-46-7	1.4-DiclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB05	95-50-1	1.2-DiclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB06		DiclorobenceNO (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB09	87-61-6	1.2.3-TriclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB10	120-82-1	1.2.4-TriclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB11	108-70-3	1.3.5-TriclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB12		1.2.4.5+1.2.3.4 TetraclorobenceNOs	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB16		1.2.4.5+1.2.3.5- TetraclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB17	608-93-5	PentaclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB18	118-74-1	HexaclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB20	634-90-2	1.2.3.5-TetraclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB21		TriclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB22		PCB (7 suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB24	634-66-2	1.2.3.4-TetraclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB25		TetraclorobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB26		PentaclorobenceNO (como POC/PC)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB27	7012-37-5	PCB 28	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB28	35693-99-3	PCB 52	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB29	37680-73-2	PCB 101	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB30	31508-00-6	PCB 118	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB31	35065-28-2	PCB 138	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB32	35065-27-1	PCB 153	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB33	35065-29-3	PCB 180	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CB34		PCB (6 suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO
CBN1	88-73-3; 100-00-5	o,p-CloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CBN2	121-73-3	m-CloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CBN4	3209-22-1; 99-54-7	2.3+3.4-DicloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CBN5	611-06-3	2.4-DicloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CBN6	89-61-2	2.5-DicloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CBN7	618-62-2	3.5-DicloronitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CC01	56-23-5	Tetracloruro de carboNO o TetraclorometaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CD01	7440-43-9	Cadmio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE01	107-06-2	1.2-DicloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE02	71-55-6	1.1.1-TricloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
CE03	75-34-3	1.1-DicloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE04	127-18-4	TetracloroetileNO o tetracloroeteNO o percloroetileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE06	79-01-6	TricloroetileNO o TricloroeteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE07	75-35-4	1.1-DicloroetileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE08	156-60-5	Trans1.2-DicloroetileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE09	156-59-2	Cis1.2-DicloroetileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE10	79-00-5	1.1.2-TricloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE11	79-34-5	1.1.2.2-TetracloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE12	67-72-1	HexacloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE14	630-20-6	1.1.1.2-TetracloroetaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF01	95-57-8	2-ClorofeNOI / o-ClorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF02	106-48-9	4-ClorofeNOI / p-ClorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF03	108-43-0	3-ClorofeNOI / m-ClorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF05	120-83-2	2.4-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF06	87-65-0	2.6-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF07	120-83-2; 583-78-8	2.4+2.5-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF08	88-06-2	2.4.6-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF09		TetraclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF10	4901-51-3	2.3.4.5-TetraclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF13	87-86-5	PentaclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF14	18708-86-6	Clorfenvinfos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF18		MoNOclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF19	576-24-9	2.3-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF20	95-77-2	3.4-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF21	591-35-5	3.5-DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF22		DiclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF23	15950-66-0	2.3.4-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF24	933-78-8	2.3.5-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF25	933-75-5	2.3.6-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF26	609-19-8	3.4.5-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF27		TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF28	58-90-2; 935-95-5	2.3.4.6+2.3.5.6-TetraclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF31	95-95-4	2.4.5-TriclorofeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CIA1	21725-46-2	Cianacina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CL01	16887-00-6	Cloruro	mg/kg	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CL02	75-01-4	Cloruro de vinilo	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CLD1	12789-03-6	ClordaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
CLD2	5103-71-9	α-ClordaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CLD3	5103-74-2	γ-ClordaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CLO3	1024-57-3	Heptacloro epoxido	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CM02	67-66-3	Cloroformo o triclorometano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CM03	75-09-2	Diclorometano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CMF1	59-50-7	4-Cloro-3-Metilfenol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ
CMS1		Carbonatos % de materia seca	%peso MS	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CNF1	90-13-1	1-Cloronaftaleno	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CNL1	106-47-8	p-Cloroanilina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO
CO01	7440-48-4	Cobalto	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
COC1		Contaminante Objeto de Consideración	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
COT1		Carbón Orgánico Total	%peso MS	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP01	78-87-5	1,2-Dicloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP02	542-75-6	Trans-1,3-Dicloropropano o 1,3-Dicloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP03	142-28-9	1,3-Dicloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP04		1,2,3-Tricloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP05	563-58-6	1,1-Dicloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP06	10061-01-5	Cis-1,3-Dicloropropano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CR01	7440-47-3	Cromo	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CR02	18540-29-9	Cromo VI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRE1	1319-77-3	Cresol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRE2	95-48-7	o-Cresol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRE3	108-39-4	m-Cresol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRE4	106-44-5	p-Cresol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRE5	1319-77-3	Cresol (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CRS1	218-01-9	CriseNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
CTO1	95-49-8	2-Clorotolueno	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CTO2	106-43-4	4-Clorotolueno	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CU01	7440-50-8	Cobre	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CUM1	56-72-4	Cumafos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
D001	60-57-1	Dieldrín	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DBF1	132-64-9	Dibenzofurano	mg/kg	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDD1	72-54-8	p,p'-DDD o 4,4'-DDD	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDD2	72-54-8; 789-02-6	4,4'-DDD/2,4'-DDT o p,p'-DDD+o,p'-DDT (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDD3	53-19-0	o,p'-DDD o 2,4'-DDD	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDE1	72-55-9	p,p'-DDE o 4,4'-DDE	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDE3	3424-82-6	o,p'-DDE o 2,4'-DDE	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
DDT2	50-29-3	p,p'-DDT o 4,4'-DDT	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT7		DDT/DDE/DDD (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DEM1	919-86-8; 298-03-3	Demeton-S/demeton-O-etil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DEM2	919-86-8	Demeton-S-methyl	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DEM3	298-03-3	Demeton-O-Ethyl	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DIZ1	333-41-5	DiaziNOa	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DSF1	298-04-4	Disulfoton	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DV01	62-73-7	Diclorvos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
E001	72-20-8	Endrín	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
E005	7421-93-4	Endrín aldehido	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
E006	53494-70-5	Endrín cetona	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
EB01	100-41-4	EtilbenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES01	100-42-5	EstireNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES03		EndosulfaNO II (o beta)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES04		Endosulfán sulfato o Endosulfansulfato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES05		EndosulfaNO I (o alpha)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES06		EndosulfaNO (a+b)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ETI1	563-12-2	Etion	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F001	108-95-2	FeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F003	206-44-0	FluoranteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
F009	105-67-9	2,4-DimetilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F010	95-87-4	2,5-DimetilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F011	576-26-1	2,6-DimetilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F012	95-65-8	3,4-DimetilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F013	90-00-6	o-EtilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F014	620-17-7	m-EtilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F015		2,3+3,5-DimetilifeNOI+4-EtilifeNOI	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FEN1	122-14-5	Fenitrotión	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FEN2	55-38-9	Fentión	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FL01	86-73-7	FluoreNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
FL05	1582-09-8	Trifluralina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FN01	85-01-8	Fenantreno	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
FNF1	944-22-9	FoNOfos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT01	131-11-3	Dimetilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT02	84-66-2	Dietilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT03	84-69-5	Di-isobutilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT04	84-74-2	Dibutilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT05	85-68-7	Butilbencilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
FT06	117-81-7	Ftalato de bisetilhexilo di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT07	117-84-0	Di-n-octilftalato	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT08		Ftalato (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HAP1		HAP 10 VROM (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
HAP2		HAP 16 EPA (suma)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
HC01	76-44-8	Heptacloro	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HCB1	87-68-3	HexaclorobutadieNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HCH1	319-84-6	α-HCH	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH2	319-85-7	β-HCH	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH3	58-89-9	γ-HCH	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH4	319-86-8	δ-HCH	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH5	07/10/6108	ε-HCH	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH6		HexaclorociclohexaNO, otros isómeros a	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH7		HexaclorociclohexaNO, otros isómeros b	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH8		HexaclorociclohexaNO, otros isómeros c	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH9		HexaclorociclohexaNO, otros isómeros d	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS1		HexaclorociclohexaNO (suma4 α, β, γ, δ)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS2		HexaclorociclohexaNO (suma5 α, β, γ, δ, ε)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HG01	7439-97-6	Mercurio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HPC1	18376-24-4	HeptaclorociclohexaNO isómero 1	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HPC2	18376-25-5	HeptaclorociclohexaNO isómero 2	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HPC3	18376-26-6	HeptaclorociclohexaNO isómero 3	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HPC4	707-55-1	HeptaclorociclohexaNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
I001	124-96-9	Isodrin	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IP01	193-39-5	IndeNO(1.2.3-cd)pireNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
MAL1	121-75-5	Malatión	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MCL1	30667-99-3	Metoxicloro	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MO01	7439-98-7	MolibdeNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MOS1		Materia orgánica % de materia seca	%peso MS	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MS01		Materia Seca	% peso	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MTR1	1014-69-3	Desmetrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MTR2	52315-07-8	Cipermetrina A,B,C,D	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MTR3	52918-63-5	Deltametrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MTR4	52341-32-9; 54774-45-7	Permetrina (A+B)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NAF1	91-20-3	NaftaleNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
NAF3	83-32-9	AcenafteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
NAF4	208-96-8	AcenafteNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
NI01	7440-02-0	Níquel	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NTB1	98-95-3	NitrobenceNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PAR1	56-38-2	Paration o Etil Paration	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PAR2	298-00-0	Paration-metil	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PB01	7439-92-1	Plomo	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PCH1		PentaclorociclohexaNOs	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCH2		PentaclorociclohexaNO, isómero a	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCH3	1890-40-0	PentaclorociclohexaNO, isómero b	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCH4		PentaclorociclohexaNO, isómero c	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCH5		PentaclorociclohexaNO, isómero d	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCH6		PentaclorociclohexaNO, isómero e	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PH01		pH		SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PI01	129-00-0	PireNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
PIR1	2921-88-2	Clorpirifos-etil o Etil-Clorpirifos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PIR2	5598-13-0	Clorpirifos-metil o Metil-Clorpirifos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PMT1	7287-19-6	Prometrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PPZ1	139-40-2	Propazina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PRC1	1918-16-7	Propacloro	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SB01	7440-36-0	Antimonio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SE01	7782-49-2	Selenio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SIM1	1014-70-6	Simetrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SIZ1	122-34-9	Simazina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SN01	7440-31-5	Estaño	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SO01	14808-79-8	Sulfatos	mg/kg	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TBT1	886-50-0	Terbutrina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TBT2	5915-41-3	Terbutilazina	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TCH1		TetraclorociclohexaNOs	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TED1	116-29-0	Tedion o tetradifon	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEL1	297-78-9	Telodrin	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TIM1	89-83-8	Timol	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TO01	108-88-3	TolueNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TO02	99-87-6	p-IsopropiltolueNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TPH1		TPH (C10-C12)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
TPH2		TPH (C12-C16)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
TPH3		TPH (C16-C21)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
TPH4		TPH (C21-C30)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
TPH5		TPH (C30-C35)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
TPH6		TPH (C35-C40)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
TPH7		TPH suma (C10-C40)	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO
VA01	7440-62-2	Vanadio	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI01	108-38-3; 106-42-3	m+p-XileNOs	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI02	95-47-6	o-XileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI03	1330-20-7	XileNO	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ZF01	13457-18-6	Pirazofos	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ZF02	24017-47-8	Triazofo	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ZN01	7440-66-6	Zinc	mg/kg	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO



ANEJO III BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: SUBTERRÁNEAS.ACcdb



CEDEX

ANEJO III. BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUBTERRÁNEAS: SUBTERRÁNEAS.ACCDB

La base de datos de calidad de aguas subterráneas se ha organizado con la misma estructura que la anterior. En "Subterráneas.accdb" se distingue entre 3 clases de tablas. En la tabla de cabeceras se encuentran los datos que definen cada punto o estación de medida. Se denomina "111PuntoMuestreoCab" e identifica cada estación mediante un código numérico único de cada una de ellas. Contiene también campos con las últimas coordenadas recibidas, las cotas y la profundidad de los sondeos. La Tabla A3.1 muestra una visión parcial de la tabla habiéndose seleccionado únicamente las estaciones con series muestreadas, ya que la tabla de cabeceras en "Subterráneas.accdb" guarda información del total de sondeos disponible, con (197 series) o sin series (70 series) de registros temporales.

La Figura A3.1 muestra la localización de las series muestreadas en Sardas y Sabiñánigo. Quedan fuera de este marco las 4 series tomadas en Bailín por el CEH durante octubre de 1989 y mayo de 1990.

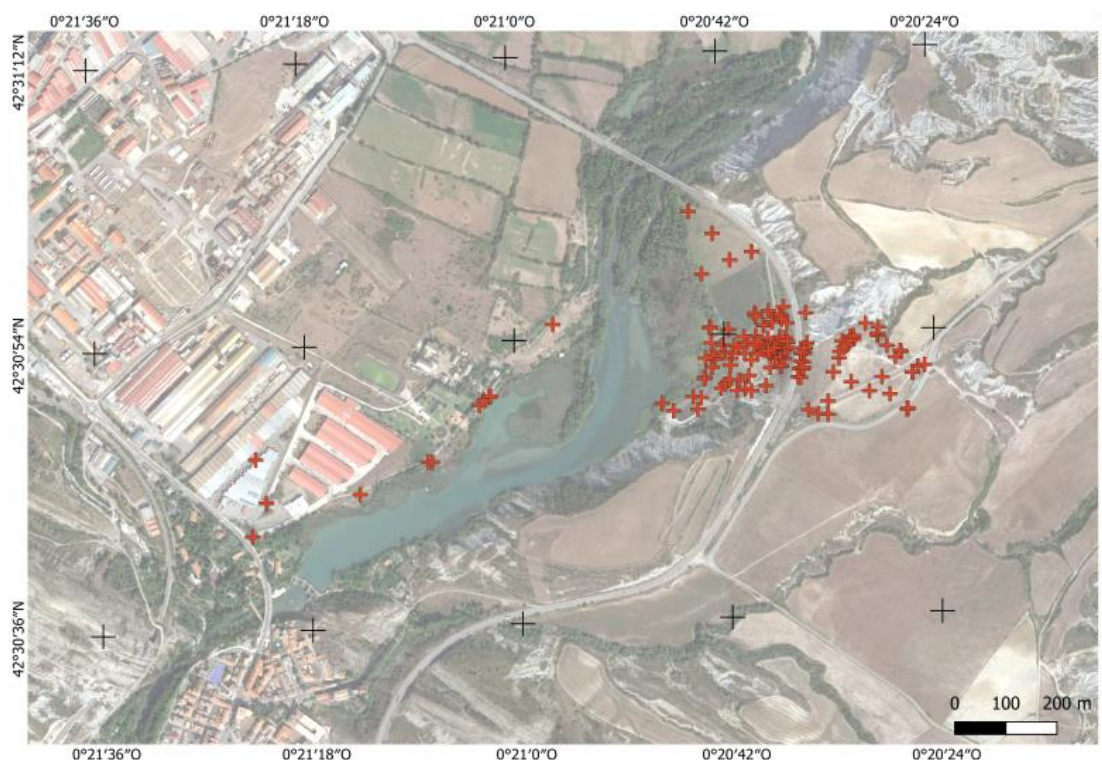


Figura A3.1. Localización de las series de medida de calidad de aguas subterráneas en Sabiñánigo y Sardas

La Figura A3.2 muestra las relaciones establecidas entre el campo del código numérico de esta tabla y las de las series temporales.

Cada parámetro físico químico y de calidad de aguas tiene una tabla de la serie temporal registrada con la fecha de registro en campo. Son un total de 93 tablas de series donde se almacenan los datos tomados de aguas subterráneas relacionados con la temperatura del punto de medida, con los niveles piezométricos y con las concentraciones de los diferentes compuestos.



Figura A3.2. Vista parcial de las relaciones entre tablas de series temporales y la de cabecera de los puntos de medida

La mayor parte de los datos se han registrado en aguas subterráneas. También se han almacenado en esta base de datos los procedentes de los análisis de aguas superficiales controladas en el vertedero de Sardas bajo la hipótesis de ser aguas drenadas y, por tanto, relacionadas con las subterráneas. No obstante a esto, también proceden de las escorrentías superficiales generadas de la lluvia directa. El campo “Tipo” de la tabla de cabeceras permite distinguir estos casos como “MUESTRA SUPERFICIAL”. Los nombres de las tablas se componen usando el prefijo “Serie” y el código del parámetro que se muestra en la Tabla A3.2.

Y por último se distingue una serie de tablas con aspectos descriptivos de los parámetros de calidad utilizados. La tabla “000ParSB” es la de mayor interés, al contener el código alfanumérico de cada variable o parámetro físico químico y las unidades de los registros (Tabla A3.2). También contiene las clases que se han considerado para su manejo.

La base de datos se completa con el conjunto de consultas para la exportación de cada registro con su fecha y localización del muestreo.

Tabla A3.1. Puntos y estaciones de medida en “Subterráneas.accdb”

CODNUM	COD ORIGEN	X-UTM30	Y-UTM30	Cota	Profundidad	TIPO
2909060059	2909-6-0059	717210	4710043	764,90	10,20	SONDEO
2909060060	2909-6-0060	717183	4709977	775,69	9,50	SONDEO
2909060083	2909-6-0083	717189	4710128	774,15	11,20	SONDEO
2909070046	2909-7-0046	718088	4710326	771,00	9,50	SONDEO
2909070047	2909-7-0047	717646	4710252	766,88	6,00	SONDEO
2909070048	2909-7-0048	717527	4710124	768,77	7,00	SONDEO
2909070050	2909-7-0050	718226	4710368	766,35		SONDEO
2909070051	2909-7-0051	718224	4710346	776,64	11,00	SONDEO
2909070052	2909-7-0052	718101	4710269	776,42		PUNTO DE CONTROL
2909070053	2909-7-0053	718193	4710421	767,98		PUNTO DE CONTROL



CODNUM	COD ORIGEN	X-UTM30	Y-UTM30	Cota	Profundidad	TIPO
2909070054	2909-7-0054	718206	4710328	772,67		SONDEO
2909070055	2909-7-0055	718216	4710366	776,01		SONDEO
2909070056	2909-7-0056	718263	4710347	775,52		SONDEO
2909070059	2909-7-0059	717627	4710235	787,00	4,10	SONDEO
2909070060	2909-7-0060	717636	4710245	765,00	4,10	SONDEO
9000000031	ST1	718082	4710332	766,00	9,50	SONDEO
9000000032	ST2	718083	4710573	766,11	11,50	SONDEO
9000000033	ST3	717649	4710253	769,30	6,00	SONDEO
9000000034	ST4	717535	4710124	768,38	7,00	SONDEO
9000000035	ST5	717394	4710060	766,35	6,00	SONDEO
9000000036	ST6	717771	4710394	772,64	5,40	SONDEO
9000000037	PS1	718189	4710274	771,50	5,00	SONDEO
9000000038	PS2	718132	4710264	776,15	5,00	SONDEO
9000000039	PS3	718046	4710252	770,97	14,00	SONDEO
9000000040	PS4	718262	4710309	766,43	15,00	SONDEO
9000000041	PS5	718212	4710345	790,06	17,60	BOMBEO
9000000042	PS6	718197	4710310	775,42	13,30	SONDEO
9000000043	PS7	718207	4710329	775,58	20,10	SONDEO
9000000044	PS8	718216	4710370	775,34	21,00	BOMBEO
9000000045	PS9	718217	4710370	775,15	9,00	SONDEO
9000000046	PS10	718228	4710347	775,03		SONDEO
9000000047	PS11	718224	4710327	777,10		SONDEO
9000000048	PS12	718218	4710312	777,56		SONDEO
9000000049	PS13	718219	4710411	777,63	16,20	SONDEO
9000000050	PS14	718189	4710351	774,66	18,00	BOMBEO
9000000051	PS15	718215	4710356	774,16	20,00	BOMBEO
9000000052	PS16	718134	4710348	775,01	21,00	SONDEO
9000000053	PS17	718159	4710325	771,55	18,00	SONDEO
9000000054	PS18	718168	4710372	773,28	16,60	SONDEO
9000000055	PS19	718196	4710339	772,56	31,00	SONDEO
9000000056	PS20	718146	4710337	774,54	19,20	SONDEO
9000000057	PS21	718151	4710359	772,42	30,80	BOMBEO
9000000058	PS22	718254	4710308	772,30	24,20	SONDEO
9000000059	PS23	718257	4710337	789,72	18,00	BOMBEO
9000000060	PS24	718192	4710367	788,21	35,70	SONDEO
9000000061	CHE	718085	4710333	774,07		SONDEO
9000000062	S2	718486	4710313	766,98	9,00	SONDEO
9000000063	S30	718391	4710264	819,60	40,30	SONDEO
9000000064	S31	718415	4710292	814,40	16,00	SONDEO
9000000065	S32	718431	4710258	816,16	40,20	SONDEO
9000000066	S32B	718466	4710229	816,99	30,00	SONDEO
9000000067	S32C	718465	4710228	816,73	42,00	SONDEO
9000000068	S33	718475	4710301	816,65	10,10	SONDEO
9000000069	S33B	718474	4710302	820,81	4,50	SONDEO
9000000070	S34	718331	4710328	820,86	38,40	SONDEO
9000000071	S35	718442	4710331	814,17	14,40	SONDEO
9000000072	S35B	718425	4710353	818,70	13,50	SONDEO
9000000073	S35C	718453	4710341	818,22	14,50	SONDEO
9000000074	S35D	718451	4710343	820,23	3,90	SONDEO
9000000075	S36	718260	4710306	820,17	19,60	SONDEO



CODNUM	COD ORIGEN	X-UTM30	Y-UTM30	Cota	Profundidad	TIPO
9000000076	S37	718262	4710320	790,10	25,00	BOMBEO
9000000077	S38	718263	4710339	789,10	30,60	SONDEO
9000000078	S38B	718263	4710337	788,73	37,50	SONDEO
9000000079	S39	718349	4710356	788,76	33,20	SONDEO
9000000080	S41	718310	4710244	815,17	15,20	SONDEO
9000000081	S41B	718272	4710227	809,10	14,10	SONDEO
9000000082	S41C	718310	4710218	807,43	15,00	SONDEO
9000000106	PS7B	718215	4710330	808,47	13,50	SONDEO
9000000107	PS7C	718216	4710329	776,16	6,80	SONDEO
9000000108	PS16B	718107	4710340	776,20	28,80	SONDEO
9000000109	PS16C	718106	4710339	769,45	12,00	SONDEO
9000000110	PS16D	718126	4710353	769,38	12,30	SONDEO
9000000111	PS16E	718122	4710337	770,56	13,30	SONDEO
9000000112	PS16F	718119	4710328	770,85	12,00	SONDEO
9000000113	PS16G	718118	4710314	770,47	12,50	SONDEO
9000000114	PS17B	718172	4710336	770,89	39,50	SONDEO
9000000115	PS19B	718197	4710345	773,54	13,50	SONDEO
9000000116	PS19C	718198	4710344	774,33	11,00	SONDEO
9000000117	PS21B	718145	4710369	774,43	13,20	SONDEO
9000000118	PS25	718183	4710392	771,06	40,60	SONDEO
9000000119	PS25B	718184	4710393	772,99	13,00	SONDEO
9000000120	PS26	718078	4710388	773,10	9,10	SONDEO
9000000121	PS26B	718078	4710389	766,72	43,60	SONDEO
9000000122	PS26C	718080	4710387	766,73	23,30	SONDEO
9000000123	PS27	718155	4710294	766,74	25,00	SONDEO
9000000124	PS28	718217	4710312	773,18	19,70	SONDEO
9000000125	PS28B	718218	4710313	776,62	12,80	SONDEO
9000000126	PS29	718225	4710344	776,59	19,00	SONDEO
9000000127	PS29B	718225	4710345	776,25	11,80	SONDEO
9000000128	PS29C	718225	4710346	776,32	5,00	SONDEO
9000000129	ST1B	718081	4710358	776,27	9,00	SONDEO
9000000130	ST1C	718083	4710310	767,09	8,30	SONDEO
9000000131	ST1D	718069	4710290	766,40	6,60	SONDEO
9000000132	ST1E	718067	4710287	766,08	9,60	SONDEO
9000000133	S2B	718499	4710316	766,00		SONDEO
9000000134	S32D	718467	4710230	822,84	7,30	SONDEO
9000000135	S35E	718407	4710373	816,72	17,50	SONDEO
9000000136	S35F1	718406	4710376	810,41	3,30	SONDEO
9000000137	S35F2	718406	4710376	810,45	6,00	SONDEO
9000000138	S37B	718256	4710322	810,45	20,00	SONDEO
9000000139	S39B	718333	4710341	788,76	41,00	BOMBEO
9000000140	S39C	718338	4710362	814,67	30,40	BOMBEO
9000000141	S39D	718353	4710370	815,28	39,00	BOMBEO
9000000142	S39E	718360	4710366	815,32	34,50	BOMBEO
9000000143	S39F	718346	4710355	815,38	40,30	BOMBEO
9000000144	S39G	718341	4710349	815,12	39,50	BOMBEO
9000000145	S39H	718360	4710372	815,06	35,20	BOMBEO
9000000146	S39I	718353	4710362	815,38	37,40	BOMBEO
9000000147	S40	718268	4710357	815,26	28,00	SONDEO
9000000148	S40B	718268	4710359	786,29	16,80	SONDEO
9000000149	S41D	718291	4710219	786,25	9,30	SONDEO
9000000150	S42	718251	4710292	807,69	14,40	SONDEO



CODNUM	COD ORIGEN	X-UTM30	Y-UTM30	Cota	Profundidad	TIPO
9000000151	S42B	718256	4710290	790,38	14,40	SONDEO
9000000152	S43	718320	4710301	790,86	39,30	SONDEO
9000000153	S43B	718355	4710282	812,70	31,31	SONDEO
9000000154	AF1	718148	4710268	812,15		SONDEO
9000000155	Embalse	717985	4710239	773,00		SONDEO
9000000156	PC1	718408	4710389	764,90		PUNTO DE CONTROL SUP
9000000157	PC2	718266	4710417	808,00		PUNTO DE CONTROL SUP
9000000158	PC3	718214	4710414	776,00		PUNTO DE CONTROL SUP
9000000159	PC4	718103	4710354	773,00		PUNTO DE CONTROL SUP
9000000160	CN1	718230	4710359	767,00		DREN
9000000161	CN2	718229	4710397	773,00		DREN
9000000162	S38C	718263	4710336	772,00	9,40	SONDEO
9000000163	CN0	718263	4710348	788,75		DREN
9000000164	FIZQ	718231	4710348	787,40		DREN
9000000165	FDER	718265	4710347	785,73		DREN
9000000166	SE-3-1	718222	4710429	788,45		
9000000167	PS13B	718219	4710404	775,00	43,70	SONDEO
9000000168	PS25D	718201	4710399	774,99	45,30	SONDEO
9000000169	PS25C	718200	4710399	774,03	24,00	SONDEO
9000000170	PS3B	718062	4710250	773,99	11,40	SONDEO
9000000171	ST1F	718007	4710224	769,32	14,40	SONDEO
9000000172	S36B	718260	4710310	768,98	20,20	SONDEO
9000000173	PS23B	718257	4710339	789,81	11,50	SONDEO
9000000174	PS14B	718186	4710349	788,13	16,50	SONDEO
9000000175	PS14C	718185	4710352	773,97	16,30	SONDEO
9000000176	PS14D	718184	4710348	773,94	16,00	BOMBEO
9000000180	PS14E	718186	4710346	773,96	17,00	SONDEO
9000000181	PS14F	718181	4710349	774,11	17,00	SONDEO
9000000182	PS14G	718184	4710345	773,86	16,50	SONDEO
9000000183	PS14H	718181	4710346	774,07	17,00	SONDEO
9000000184	PS14I	718189	4710348	773,96	16,80	SONDEO
9000000185	PS14J	718189	4710345	774,13	16,60	SONDEO
9000000186	PS14K	718186	4710344	774,21	16,50	SONDEO
9000000187	PS14L	718192	4710347	774,16	16,70	SONDEO
9000000188	PS14M	718191	4710349	774,28		SONDEO
9000000190	SPN1	718036	4710616	774,23		SONDEO
9000000191	SPN2	718160	4710537	767,27		SONDEO
9000000192	SPN3	718117	4710521	777,19		SONDEO
9000000193	SPN4	718062	4710493	771,57		SONDEO
9000000194	SPN5	718114	4710384	766,37		SONDEO
9000000195	SPN6	718167	4710414	767,15		SONDEO
9000000196	SPN6B	718166	4710416	769,80		SONDEO
9000000197	DR1	718263	4710348	769,84		DREN
9000000198	RZTH	718230	4710361	787,40		DREN
9000000199	EBV	718109	4710277	776,00		VERTIDO
9000000200	EBN	718055	4710228	767,00		VERTIDO
9000000217	CEH331	717360	4706883			SONDEO
9000000218	CEH332	717336	4706842			SONDEO
9000000219	CEH333	717426	4706877			SONDEO
9000000220	CEH334	717401	4706850			SONDEO



CEDEX

CODNUM	COD ORIGEN	X-UTM30	Y-UTM30	Cota	Profundidad	TIPO
9000000225	P1	718065	4711770			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000226	P3	715970	4707615			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000227	P4	715640	4707020			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000228	P5	714525	4702985			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000229	P7	703360	4696900			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000230	P8	719755	4717990			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000231	P9	713275	4719590			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000232	P10	718815	4708525			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000233	P11	710910	4699298			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000234	E1	717830	4710450			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000235	E2	718020	4710410			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000236	E3	717307	4710038			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000237	E4	715630	4707020			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000238	E5	714825	4705840			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000239	E6	703465	4696883			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000240	E7	689310	4694800			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000241	P6	719739	4717866			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000247	PS5B	718207	4710349	775,00		SONDEO
9000000248	PS5C	718200	4710356	774,00		SONDEO
9000000249	PS5D	718202	4710347	775,00		SONDEO
9000000250	PS5E	718203	4710347	775,00		SONDEO
9000000251	PS5F	718204	4710348	775,00		SONDEO
9000000252	PS19D	718193	4710342	774,00		SONDEO
9000000253	PS21C	718165	4710353	773,00		SONDEO
9000000254	PS21D	718171	4710359	773,00		SONDEO
9000000255	PC9	718383	4710397			MUESTRA SUPERFICIAL
9000000256	PC5	718168	4710410	770,00		MUESTRA SUPERFICIAL
9000000257	PC6	718136	4710285	768,00		MUESTRA SUPERFICIAL
9000000258	PC7	718070	4710328	765,00		MUESTRA SUPERFICIAL
9000000259	CN	718160	4710264	770,00		MUESTRA SUPERFICIAL
9000000260	SD	718117	4710285	779,00		MUESTRA SUPERFICIAL
1	Embalse EMGRISA	717985	4710239	765,00		Embalse; superficial



Tabla A3.2. Parámetros de la base de datos “Subterráneas.accdb”

COD	CAS	Denominación	Ud	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
AL01	7429-90-5	Aluminio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
ALC1		Alcalinidad		NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
AS01	7440-38-2	Arsénico		NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B001	71-43-2	Benceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
BA01	7440-39-3	Bario	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BO01	7440-42-8	Boro	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C001	471-34-1	Carbonatos	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C002	71-52-3	Bicarbonatos	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CA01	7440-70-2	Calcio	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CB01	108-90-7	Clorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB03	541-73-1	1.3-Diclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB04	106-46-7	1.4-Diclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB05	95-50-1	1.2-Diclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB09	87-61-6	1.2.3-Triclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB10	120-82-1	1.2.4-Triclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB11	108-70-3	1.3.5-Triclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB15	95-94-3	1.2.4.5-Tetraclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB16		1.2.4.5+1.2.3.5-Tetraclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB17	608-93-5	Pentaclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB18	118-74-1	Hexaclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB20	634-90-2	1.2.3.5-Tetraclorobenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CD01	7440-43-9	Cadmio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CDT1		Conductividad a 20 y 25 °C	µS/cm	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE03	75-34-3	1.1-Dicloroetano	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE04	127-18-4	Tetracloroetileno o tetracloroetano o percloroetileno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE06	79-01-6	Tricloroetileno o tricloroetano	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF01	95-57-8	2-Clorofenol / o-Clorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF02	106-48-9	4-Clorofenol / p-Clorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF03	108-43-0	3-Clorofenol / m-Clorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF04	95-57-8; 106-48-9	2 y 4-Clorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF05	120-83-2	2.4-Diclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ



COD	CAS	Denominación	Ud	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Ct
CF06	87-65-0	2.6-Diclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF07	120-83-2; 583-78-8	2.4+2.5-Diclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF08	88-06-2	2.4.6-Triclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF09		Tetraclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF10	4901-51-3	2.3.4.5-Tetraclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF11	58-90-2	2.3.4.6-Tetraclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF12	935-95-5	2.3.5.6-Tetraclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF13	87-86-5	Pentaclorofenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CL01	16887-00-6	Cloruro	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CM01	74-87-3	Clorometano o cloruro de metileno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CM02	67-66-3	Cloroformo o triclorometano	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CO01	7440-48-4	Cobalto	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CR01	7440-47-3	Cromo	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CU01	7440-50-8	Cobre	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DBO5		Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg O ₂ /l	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DQO1		Demanda química de oxígeno, DQO	mg O ₂ /l	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
EB01	100-41-4	Etilbenceno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
F001	108-95-2	Fenol	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE01	14093-02-8	Hierro	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE02	15438-31-0	Hierro II	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE03		Hierro III	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HC04		Hidrocarburos Método IR		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HCH1	319-84-6	α-HCH	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH2	319-85-7	β-HCH	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH3	58-89-9	γ-HCH	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH4	319-86-8	δ-HCH	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH5	6108-10-7	ε-HCH	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS1		Hexaclorociclohexano (suma 4 α, β, γ, δ)	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS2		Hexaclorociclohexano (suma 5 α, β, γ, δ, ε)	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS3		Hexaclorociclohexano (Suma mín)	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS4		Hexaclorociclohexano (Suma máx)	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HG01	7439-97-6	Mercurio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IO01	20461-54-5	Ioduro		NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Ud	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
K001	7440-09-7	Potasio	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MG01	7439-95-4	Magnesio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MN01	7439-96-5	Manganeso	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MO01	7439-98-7	Molibdeno	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
N001	14797-65-0	Nitrito		SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
N002	14797-55-8	Nitrato		SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NA01	7440-23-5	Sodio	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NH01	14798-03-9	Amonio total		SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NI01	7440-02-0	Níquel	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NP01		Nivel piezométrico	m	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
O201	7782-44-7	Oxígeno disuelto	µg/l	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
O202		Oxígeno disuelto (% sat)	%	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PB01	7439-92-1	Plomo	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PH01		pH		SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
RED1		Potencial redox	mV	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SB01	7440-36-0	Antimonio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SE01	7782-49-2	Selenio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SN01	7440-31-5	Estaño	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SO01	14808-79-8	Sulfatos	mg/l	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM1		Temperatura del agua	°C	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM3		Temperatura de medición del pH	°C	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM4		Temperatura del punto de muestreo	°C	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TO01	108-88-3	Tolueno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
VA01	7440-62-2	Vanadio	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI01	108-38-3; 106-42-3	m+p-Xilenos	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI02	95-47-6	o-Xileno	µg/l	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ZN01	7440-66-6	Zinc	mg/l	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO





ANEJO IV BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES: SUPERFICIALES.ACDB



CEDEX



ANEJO IV. BASE DE DATOS DE CALIDAD DE AGUAS SUPERFICIALES: SUPERFICIALES.ACcdb

La estructura de la base de datos de calidad de aguas es similar a la anterior. Distingue entre tablas y consultas. Las tablas se clasifican en 3 clases: cabeceras con datos del punto de medida; tablas de series temporales de cada parámetro de calidad registrado; y tablas con descripción de los campos utilizados.

La Tabla A4.1 muestra parte de la información característica de cada punto de medida de calidad de aguas. El mayor porcentaje de datos recogidos procede de las redes de medida de calidad de aguas de la CHE, pero también se han incluido registros de otros estudios específicos realizados por la CHE en diferentes fechas o el caso de los informes del CEDEX (1989, 1990a, 1990b y 1990c). Recientemente se han incorporado 6 series de datos registrados por el Gobierno de Aragón en el río Gállego y afluentes, desde la confluencia del río Aurín hasta Hostal de Ipiés. Esta última información, que incluye la medida de la calidad del agua en el canal hidroeléctrico de Sabiñánigo (CHS), es determinante para poder estudiar el origen de los episodios de contaminación que corresponden indudablemente a este embalse.

El total de tablas de series temporales es de 228, coincidente con el número de parámetros de calidad registrados. La Tabla A.4.2 muestra el conjunto completo de ellos, habiéndose indicado el código de clasificación de los mismos, el internacional CAS, las unidades y las familias en las que se han agrupado.

La Tabla A4.3 muestra un conjunto de clases en los que se han agrupado los 228 parámetros medidos en aguas superficiales. Las clases consideran si se trata de propiedades físicas o químicas, si los compuestos analizados son o no básicos de una red de medida de calidad, o si proceden de residuos de fabricación industrial del lindano o son producto de reacciones de degradación de estos residuos.

De acuerdo al manejo de 228 parámetros de calidad de aguas, la base de datos "Superficiales.accdb" contiene otras tantas tablas de series temporales. Cada tabla se nombra con el prefijo "Serie" y el código del tipo de dato. Se ha añadido además un prefijo más considerando si se trata de un parámetro físico (prefijo "201"), químico (prefijo "301") o biológico (prefijo "401"). Las tablas de series de concentración de los compuestos químicos se ordenan con el prefijo "601".

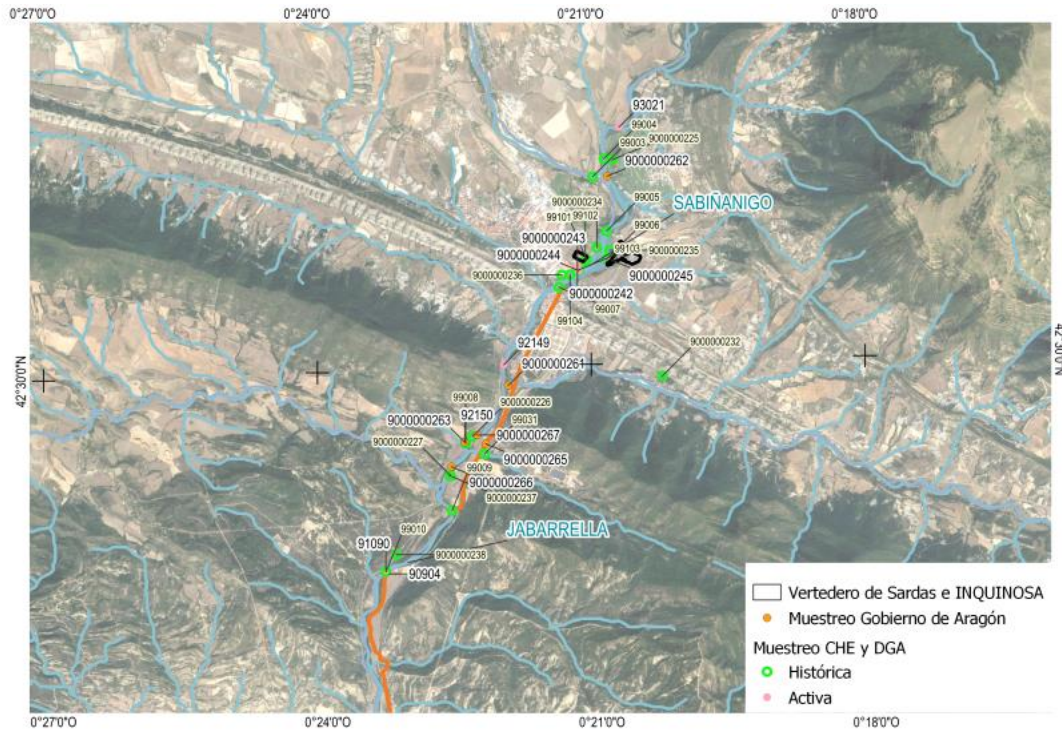


Figura A4.1. Puntos de muestreo de calidad de aguas próximos al embalse de Sabiñánigo

La Figura A4.1 muestra los códigos y ubicación de las estaciones próximas a Sabiñánigo. La mayor parte de las series solo disponen de datos puntuales y de eventos, que pueden ser usados para cotejar datos en series cruzadas. Si se considera la proximidad a Sabiñánigo y el registro de series temporales de muestras, resultan de mayor importancia para el presente estudio los datos registrados entre las estaciones del Gállego 93021 (aguas arriba de Sabiñánigo) y la 90123 (en Anzánigo), es decir, las estaciones de 92149, 92150 (ambas en Sabiñánigo), 91090 y 90904 (ambas en Jabarrella). De las destacadas anteriormente, 93021, 90123 y 92149 tienen muy poca información y su utilidad es reducida para los estudios de contaminación en Sabiñánigo. Las estaciones del GA muestrean las aguas que ingresan en el embalse de Sabiñánigo (9000000262), las descargas del río Basa en el Gállego (9000000264), el canal HE de Sabiñánigo (9000000265) y el río Gállego aguas arriba de la capa M (9000000267). Aguas abajo de Jabarrella y Javierrelatre se encuentra la estación interrumpida 90561 (en Caldearenas).

Los cronogramas de la estación 92150 en el Gállego, que se halla aguas arriba de la confluencia con el arroyo de Bailín y de las estaciones ubicadas aguas abajo, 91090 y 90904 (datos integrados) en Jabarrella, se muestran en la Figura A4.2.

Finalmente, la base de datos se completa con la serie de consultas de cada una de las tablas para poder exportar la información registrada con las coordenadas de cada estación.



Figura A4.2. Cronograma de series disponibles sobre compuestos de la clase lindano



Tabla A4.1. Puntos de medida y estaciones de seguimiento de calidad de aguas

COD alfa-numérico	Código numérico	Tipo	Periodo	Corriente	Activa	Toponimia Punto
1088FQ	91088	Puntual	Anual	Gállego	Sí	Biescas
P8	900000230	Puntual	Anual	Gállego	No	Aguas arriba de Biescas
P6	900000241	Puntual	Anual	Gállego	No	Aguas arriba del puente de Oliván
CEH013	99013	Puntual	Bianual	Gállego	No	Oliván
3021FQ	93021	Puntual	Semanal	Gállego	Sí	Aguas arriba de Sabiñánigo
CEH004	99004	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-4. Río Gállego. Aguas arriba de la confluencia con el río Aurín
P1	900000225	Puntual	Anual	Aurín	No	Desembocadura
CEH001	99001	Puntual	Bianual	Aurín	No	P-1. Río Aurín, 2-3 km aguas arriba del Puente Isín
CEH002	99002	Puntual	Bianual	Aurín	No	P-2. Río Aurín. Puente Isín
P9	900000231	Puntual	Anual	Aurín	No	Aguas abajo de la presa de sólidos de Isín
CEH003	99003	Puntual	Bianual	Aurín	No	P-3. Río Aurín. 300 m aguas arriba de la confluencia en Gállego
CAUCE-RG01	900000262	Puntual	Trimestral	Gállego	Sí	Desembocadura de río Aurín al río Gállego. Aguas arriba de la capa M
CEH005	99005	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-5. Río Gallego
E1	900000234	Puntual	Anual	Gállego	No	Embalse Sabiñánigo brazo INQUINOSA
E2	900000235	Puntual	Anual	Gállego	No	Embalse Sabiñánigo zona Sardas
CEH006	99006	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-6. Río Gállego. Drenaje de lixiviados del vertedero de Sardas
CEH101	99101	Puntual	Bianual	Vertido	No	L-1. Vertido de INQUINOSA
CEH102	99102	Puntual	Bianual	Vertido	No	L-2. Vertido de INQUINOSA
CEH103	99103	Puntual	Bianual	Vertido	No	L-3. Vertido de Aragonesas
CEH104	99104	Puntual	Bianual	Vertido	No	L-4. Vertido de Aragonesas
E3	900000236	Puntual	Anual	Gállego	No	Embalse Sabiñánigo cola embalse
CAUCE-RG04	900000265	Integrada	Semanal	Canal HE	Sí	Muestra integrada del canal HE. Se incorpora en el MZ1. Muestreo martes y jueves.
CEH007	99007	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-7. Río Gállego
2149FQ	92149	Puntual	Trimestral	Gállego	Sí	Aguas abajo de Sabiñánigo
CAUCE-RB01	900000261	Puntual	Trimestral	Basa	Sí	Río Basa de la confluencia con el río Gállego. Aguas arriba de la capa M
P10	900000232	Puntual	Anual	Basa	No	Aguas abajo de las naves de ganado (2700 m a desembocadura)
CAUCE-RG-A-EDAR	900000267	Integrada	Diaria	Gállego	Sí	Aguas abajo de la capa M. Muestra integrada 24 horas de martes a viernes; la del lunes es integrada del fin de semana
P3	900000226	Puntual	Anual	Gállego	No	Entre la depuradora de Sabiñánigo y desembocadura Barranco Bailín
CEH008	99008	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-8. Río Gállego. Aguas arriba de la desembocadura del Bailín
CAUCE-RG02	900000263	Puntual	Trimestral	Gállego	Sí	Aguas abajo de la capa M y aguas arriba del barranco de Bailín
2150FQ	92150	Puntual	Mensual	Gállego	Sí	Aguas abajo de la depuradora de Sabiñánigo
CEH031	99031	Puntual	Bianual	Bailín	No	P-13. Bailín. Escorrentías del barranco aguas abajo del vertedero de Bailín
CAUCE-RG05	900000266	Integrada	Diaria	Gállego	Sí	Aguas abajo de la capa M. Muestra integrada 24 horas de martes a viernes; la del lunes es integrada del fin de semana
E4	900000237	Puntual	Anual	Gállego	No	Embalse Sabiñánigo barranco La Avena
P4	900000227	Puntual	Anual	Gállego	No	Aguas abajo de la desembocadura del barranco de Avena
CEH009	99009	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-9. Río Gállego. Aguas abajo del vertedero de Bailín
E5	900000238	Puntual	Anual	Gállego	No	Embalse Jabarrella
CEH010	99010	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-10. Río Gállego. Junto al embalse de Jabarrella
1090FQ	91090	Puntual	Mensual	Gállego	Sí	Hostal de Ipiés
904FQ	90904	Continuo	Semanal	Gállego	Sí	Jabarrella (alerta)
P5	900000228	Puntual	Anual	Gállego	No	Aguas abajo del puente medieval (antes de Hostal de Ipiés)
CEH014	99014	Puntual	Bianual	Gállego	No	Hostal de Ipiés
CAUCE-RG03	900000264	Puntual	Trimestral	Gállego	Sí	Río Gállego en Hostal Ipiés. Aguas debajo de la capa M
P11	900000233	Puntual	Anual	Guarga	No	A la altura de Lasieso
561FQ	90561	Puntual	Mensual	Gállego	Sí	Caldearenas
E6	900000239	Puntual	Anual	Gállego	No	Vado aguas arriba de la central Javierrelatre



COD alfa-numérico	Código numérico	Tipo	Periodo	Corriente	Activa	Toponimia Punto
P7	900000229	Puntual	Anual	Gállego	No	Aguas arriba de la hidroeléctrica de Javierrelatre, entre el badén en el río y la cola del embalse de la central de Anzánigo, en el brazo de la margen izquierda
123FQ	90123	Puntual	Semanal	Gállego	Sí	Anzánigo
E7	900000240	Puntual	Anual	Gállego	No	Cola del embalse de la Peña (puente de la Peña estación)
CEH015	99015	Puntual	Bianual	Abastecimiento	No	P-14. Abastecimiento. Santa Eulalia
808FQ	90808	Puntual	Anual	Gállego	Sí	Santa Eulalia
CEH016	99016	Puntual	Bianual	Abastecimiento	No	P-15. Abastecimiento. Biscaurrés
CEH017	99017	Puntual	Bianual	Abastecimiento	No	P-16. Abastecimiento. Fuente pública de Ardisa
704FQ	90704	Puntual	Semanal	Gállego	Sí	Ardisa
CEH011	99011	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-11. Río Gállego. Junto a la presa del embalse de Ardisa
246FQ	90246	Puntual	Mensual	Gállego	Sí	Azud de Camarera
CEH012	99012	Puntual	Bianual	Gállego	No	P-12. Río Gállego. Puente antigua N-123 Zaragoza Huesca.TM Zuera
CEH018	99018	Puntual	Bianual	Abastecimiento	No	P-17. Abastecimiento. Zuera
247FQ	90247	Puntual	Mensual	Gállego	Sí	Villanueva



Tabla A.4.2. Lista de parámetros de calidad de aguas superficiales

COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
AC01	74070-46-5	Aclonifen	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AC03		Aceites minerales	mg/L	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AL01	7429-90-5	Aluminio	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
ALC1		Alcalinidad	mg/L CaCO ₃	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
ALD1	309-00-2	Aldrín	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AM01	135410-20-7	Acetamiprid	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AM02	834-12-8	Ametrina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AN01	120-12-7	Antraceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
AP01		Aspecto		SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AS01	7440-38-2	Arsénico	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AS02		Arsénico disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
AT01	1912-24-9	Atrazina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
B001	71-43-2	Benceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
BA01	7440-39-3	Bario	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BCM1	124-48-1	Dibromoclorometano	µg/L	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
BCM2	75-27-4	Bromodiolclorometano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
BDE1	189084-64-8	PBDE-100	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BDE2	68631-49-2	PBDE-153	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BDE3	207122-15-4	PBDE-154	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BDE4	41318-75-6	PBDE-28	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BDE5	5436-43-1	PBDE-47	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BDE6	60348-60-9	PBDE-99	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BE01	200-268-0	Tributilestaño	µg/L	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BE02	36643-28-4	Catión de tributilestaño	µg/L	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BE03	1002-53-5	Dibutilestaño	µg/L	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BE04	78763-54-9.	Butilestaño	µg/L	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BE05	78763-54-9.	Monobutilestaño	µg/L	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BF01	205-99-2	Benzo(b)fluoranteno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BF02	207-08-9	Benzo(k)fluoranteno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BF03		Benzo(b)+Benzo(k) fluoranteno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BO01	7440-42-8	Boro	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
BP01	50-32-8	Benzo(a)pireno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BP02	191-24-2	Benzo(ghi)perileno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BP03		Bz(ghi)perileno+Indeno (1,2,3-cd)pireno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
BR01	75-25-2	Bromoformo	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C001	471-34-1	Carbonato	mg/L CaCO ₃	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C002	71-52-3	Bicarbonatos	mg/L CaCO ₃	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C003	28159-98-0	Cibutrina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	COB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
C004	52315-07-8	Cipermetrina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
C005		Dureza total	mg/L CaCO ₃	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CA01	7440-70-2	Calcio	mg/L Ca	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CAC1		Cambios anormales en el color		SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CAN1	95-76-1	3,4-Dicloroanilina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CB01	108-90-7	Clorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB02	108-90-7	Monoclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB03	541-73-1	1,3-Diclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB04	106-46-7	1,4-Diclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB05	95-50-1	1,2-Diclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB06		Diclorobenceno (suma)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB07		Diclorobencenos (Suma mín)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB09	87-61-6	1,2,3-Triclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB10	120-82-1	1,2,4-Triclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB11	108-70-3	1,3,5-Triclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB14		Triclorobencenos (Suma máx)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB15	95-94-3	1,2,4,5-Tetraclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB17	608-93-5	Pentaclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB18	118-74-1	Hexaclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB20	634-90-2	1,2,3,5-Tetraclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB21		Triclorobenceno (suma)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO
CB22		Tetraclorobenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CBF1	90-98-2	4,4'-Diclorobenzofenona	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CC01	56-23-5	Tetracloruro de carbono	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CD01	7440-43-9	Cadmio	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CDT1		Conductividad a 20 °C	µS/cm	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CDT2		Conductividad a 25°C	µS/cm	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE01	107-06-2	1,2-Dicloroetano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE02	71-55-6	1,1,1-Tricloroetano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE03	75-34-3	1,1-Dicloroetano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE04	127-18-4	Tetracloroetileno o percloroetileno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CE06	79-01-6	Tricloroetileno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF03	108-43-0	3-Clorofenol / m-Clorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF04	95-57-8 106-48-9	2 y 4-Clorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF05	120-83-2	2,4-Diclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF06	87-65-0	2,6-Diclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Ct
CF08	88-06-2	2.4.6-Triclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF09		Tetraclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF13	87-86-5	Pentaclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ
CF14	18708-86-6	Clorfenvinfos	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF15	115-32-2	p,p'-Dicofol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CF16	95-57-8	Clorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ
CF17		Triclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CF18		Diclorofenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CI01	57-12-5	Cianuro	mg/L CN	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CL01	16887-00-6	Cloruro	mg/L ClOH	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CL03	7782-50-5	Cloro residual	mg/L Cl	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CLO1	15972-60-8	Alacloro	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CM01	74-87-3	Clorometano o cloruro de metilo	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
CM02	67-66-3	Cloroformo o triclorometano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CM03	75-09-2	Diclorometano	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
COD1		Carbono orgánico disuelto	mg/L C	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
COL1		Recuento de Coliformes fecales		SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
COL2		Recuento de Coliformes totales	ufc/100 mL	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CP09	2921-88-2	Clorpirifos	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CR01	7440-47-3	Cromo	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CT01	210880-92-5	Clotianidina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CU01	7440-50-8	Cobre	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
CU02		Cobre disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
D001	60-57-1	Dieldrín	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
D002	60-51-5	Dimetoato	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
D003	330-54-1	Diurón	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DBO5		Demanda bioquímica de oxígeno, DBO5	mg/L O2	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDD1	72-54-8	p,p'-DDD	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDD2	72-54-8; 789-02-6	4.4'-DDD/2.4'-DDT o p,p'-DDD+o,p'-DDT (suma)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDE1	72-54-8; 789-02-6	p,p'-DDE	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT1	72-55-9	o,p'-DDT	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT2	789-02-6	p,p'-DDT	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT3	50-29-3	DDTs D 86/280/CEE (Suma min)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT5		DDT's (suma)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DDT6		DDTs Directiva 2008/105	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DE01		Desetilaztrazina	ufc/100 mL	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	COB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
DF01	6190-65-4	Tetradifon	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DQO1		Demanda química de oxígeno, DQO	mg/L O ₂	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DRN1		Drines Directiva 2008/105 (Aldrín, Dieldrín, Endrín e Isodrin)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DSH1		Transparencia disco de Secchi	m	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
DV01	72-20-8	Diclorvos	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
E001	100-41-4	Endrín	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
EB01		Etilbenceno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
EC01		Recuento de Enterococos intestinales	ufc/100 mL	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
EC02		Recuento de Escherichia Coli	ufc/100 mL	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
EF01	33213-65-9	Recuento de Streptococos fecales	ufc/100 mL	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES08	1031-07-8	α-Endosulfán	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES09	959-98-8	β-Endosulfán	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ES10	108-95-2	Endosulfán sulfato	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F001	16984-48-8	Fenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
F002	206-44-0	Fluoruro	mg/L F	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F003		Fluoranteno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
F004	104-40-5	Fenol. Examen gustativo	mg/L C ₆ H ₅ OH	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F005		4-n-nonilfenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F006	140-66-9	Nonilfenol (mezcla técnica)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
F007	14093-02-8	4-tert-octilfenol	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE01	15438-31-0	Hierro	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE02	7439-89-6	Hierro II	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FE03	117-81-7	Hierro III	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FT06	14798-03-9	Ftalato de bisetilhexilo o di(2-etilhexil)ftalato (DEHP)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
FX01	42576-02-3	Bifenox	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HAP3		HAP Orden 11/05/1988	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
HAP4		HAPs Dir. 75/440	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
HAP5		HAPs Dir. 75/440 (Suma mín)	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
HC01	76-44-8	Heptacloro	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HC02	28044-83-9	Heptacloro-epóxido a	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HC03	1024-57-3	Heptacloro-epóxido b	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HC04		Hidrocarburos Método IR	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HC05		Hidrocarburos de origen petrolero	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
HCB1	87-68-3	Hexaclorobutadieno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
HCH1	319-84-6	α-HCH	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH2	319-85-7	β-HCH	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH3	58-89-9	γ-HCH	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH4	319-86-8	δ-HCH	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCH5	6108-10-7	ε-HCH	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS1		Hexaclorociclohexano (suma4 α, β, γ, δ)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS2		Hexaclorociclohexano (suma5 α, β, γ, δ, ε)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS3		Hexaclorociclohexano (Suma min)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HCS4		Hexaclorociclohexano (Suma máx)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
HG01	7439-97-6	Mercurio	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
I001	124-96-9	Isodrin	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IC01	138261-41-3	Imidacloprid	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
IP01	193-39-5	Indeno(1,2,3,-cd)pireno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
K001	7440-09-7	Potasio	mg/L K	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MC01	2032-65-7	Metiocarb	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MC02	51218-45-2	Metolacloro	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MCL1	30667-99-3	Metoxicloro	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MET1		Estado meteorológico		SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MG01	7439-95-4	Magnesio	mg/L Mg	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ML01	2212-67-1	Molinato	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MN01	7439-96-5	Manganeso	mg/L	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
MOG1		Materia orgánica U.V.	mg/L O ₂	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
N001	14797-65-0	Nitrito	mg/L NO ₂	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
N002	14797-55-8	Nitrato	mg/L NO ₃	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NA01	7440-23-5	Sodio	mg/L Na	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NAF1	91-20-3	Naftaleno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO
NH01	7664-41-7	Amonio total	mg/L NH ₄	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NH02	7440-02-0	Amoniaco no ionizado	mg/L NH ₃	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NI01		Níquel	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NI02		Níquel disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
NK01	7782-44-7	Nitrógeno Kjeldahl	mg/L N	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
O201		Oxígeno disuelto	mg/L O ₂	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
O202	19666-30-9	Oxígeno disuelto (% sat.)	% sat	SÍ	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
OX01	7723-14-0	Oxadiazón	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
P001	99-88-7	Fósforo Total	mg/L P	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PA01	56-38-2	4-Isopropilanilina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PAR1	298-00-0	Paratión Etil	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PAR2	7439-92-1	Paratión Metil	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	COB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
PB01		Plomo	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PB02		Plomo disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PCD1		Plaguicidas Orden 11/05/1988	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCD2		Plaguicidas Dir. 75/440	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCD4		Plaguicidas Dir.75/440 (Suma máx)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PCD5		Plaguicidas RD140/2003	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
PH01	1610-18-0	pH	--	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PM02	7287-19-6	Prometón	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PMT1	14265-44-2	Prometrina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PO01	139-40-2	Fosfato	mg/L PO ₄	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PPZ1	34123-59-6	Propazina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
PT01	124495-18-7	Isoproturón	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
QF01		Quinoxifen	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
QMH1		Caudal m3/h	m3/h	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
QMS1		Caudal m3/s	m3/s	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
RAQ1		Residuos alquitranados o mat. flotantes		NO	NO	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
RED1		Potencial REDOX	mV	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SAL1	7440-36-0	Salmonelas 1L	/1000 mL	SÍ	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SB01	7782-49-2	Antimonio	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SE01		Selenio	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SE02	7631-86-9	Selenio disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SI01	122-34-9	Sílice	mg/L SiO ₂	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SIZ1	7440-31-5	Simazina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SN01	14808-79-8	Estaño	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SO01		Sulfatos	mg/L SO ₄	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
SS01		Sólidos en suspensión	mg/L	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TA01		Tensoactivos aniónicos	mg/L L.A.S.	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TA02	886-50-0	Sustancias tensoactivas (exam sensorial)		SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TBT1	5915-41-3	Terbutrina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TBT2	111988-49-9	Terbutilazina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TC01	116-29-0	Tiacloprid	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM1		Temperatura del agua	°C	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM2		Temperatura del aire	°C	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM3		Temperatura de medición del pH	°C	SÍ	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TEM4		Temperatura del punto de muestreo	°C	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TF01	1582-09-8	Trifluralina	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO



COD	CAS	Denominación	Unid	CCB	PF	PQ	PB	CO	MET	RDC	CID	POC	PLG	Urb	HAP	TPH	BP	Lin	Cb	Cf
TL01	2303-17-5	Triatato	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TM01	153719-23-4	Tiametoxam	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TO01	108-88-3	Tolueno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
TU01		Turbidez	N.T.U.	SÍ	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI01	108-38-3; 106-42-3	m+p-Xilenos	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI02	95-47-6	o-Xileno	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI03	1330-20-7	Xileno (suma)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
XI05		Xilenos (Suma máx)	µg/L	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO
ZN01	7440-66-6	Zinc	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO
ZN02	7440-66-6	Zinc disuelto	mg/L	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	NO	SÍ	NO	NO



Tabla A4.3. Definición de las clases de compuestos

CAMPO	Descripción	Notas
CCB	Compuestos básicos de la red de medida	Características fisicoquímicas+compuestos: Temperatura-Conduc20°-pH-Nitratos-Nitritos-Fosfatos-Cloruros-Sulfatos-Bicarbonato-Amonio-Calcio-Nitrógeno-O2 disuelto-DBO5-DQO-Fósforo-Sodio-Magnesio
PF	Parámetro físico. Series 201	Propiedad física (peso, tamaño y textura, color): Tª, Materia seca, Fracción < 2 µm (Arcilla), Materia orgánica, Tª muestra, Tª agua, Conductividad a 20°C y 25°C, Contenido de humedad, Nivel piezométrico, Caudal
PQ	Parámetro químico. Series 301	Propiedades de compuestos químicos y concentración de sustancias básicas sin estar relacionada directamente con la concentración de un compuesto o elemento químico: pH, alcalinidad, DBO5, DQO, potencial REDOX
PB	Parámetro biológico. Series 401	Presencia de bacterias, macro- y micro-, coliformes, algas, etc. Entran los parámetros biológicos que hay dentro de los básicos de la red. No se han incluido los parámetros relacionados con la actividad biológica o con sustancias orgánicas
MET	Metal-EIQ	Familia de compuestos químicos
CID	Compuesto industrial	Derivados de la industria química: plaguicidas, plásticos, fertilizantes etc. Distintos de los plaguicidas que aparecen en el agua después de ser usados en la agricultura y de elementos que aparecen por reacción o degradación de otros originales.
TPH	TPH	Hidrocarburos totales del petróleo.
HAP	Hidrocarburo aromático policíclico	HAP o PAH según denominación española o inglesa
PLG	Plaguicida	Gran parte de los compuestos que aparecen en el agua son plaguicidas en dilución o arrastrados por lixiviados y drenajes agrícolas. Todos los compuestos, en uso o usados anteriormente como pesticidas
POC	Pesticida orgánico clorado	Familia de compuestos químicos
Cf	Clorofenoles	Familia de compuestos químicos
Cb	Clorobencenos	Familia de compuestos químicos
BP	Bifenilo policlorado	Familia de compuestos químicos
CO	Compuesto orgánico y propiedades (varios)	Familia de compuestos químicos
RDC	Compuestos que aparecen por reacción, degradación o combustión	Compuestos inorgánicos que aparecen en el agua producidos por reacción (pe, del cloro para potabilización), degradación o combustión
Lin	Compuestos relacionados con la presencia de lindano	Isómeros del HCH, compuestos liberados en presencia de lindano y reacción o degradación
Urb	Compuestos procedentes de residuos domésticos o urbanos	Varias clases



CEDEX



ANEJO V GEOLOGÍA



CEDEX

ANEJO V GEOLOGÍA

V.1 Geología regional

La zona de estudio se ubica en la Comarca del Alto Gállego, en el valle de Tena de la Cordillera Pirenaica.

Los Pirineos surgieron durante la orogenia Alpina de la colisión de las placas Ibérica y Eurasiática hace 80 millones de años. Se caracterizan por una estructura de pliegues y cabalgamientos con doble vergencia, hacia el norte en la zona norpirenaica y hacia el sur en la zona surpirenaica, donde se ubica el área de estudio (Figura A5.1).

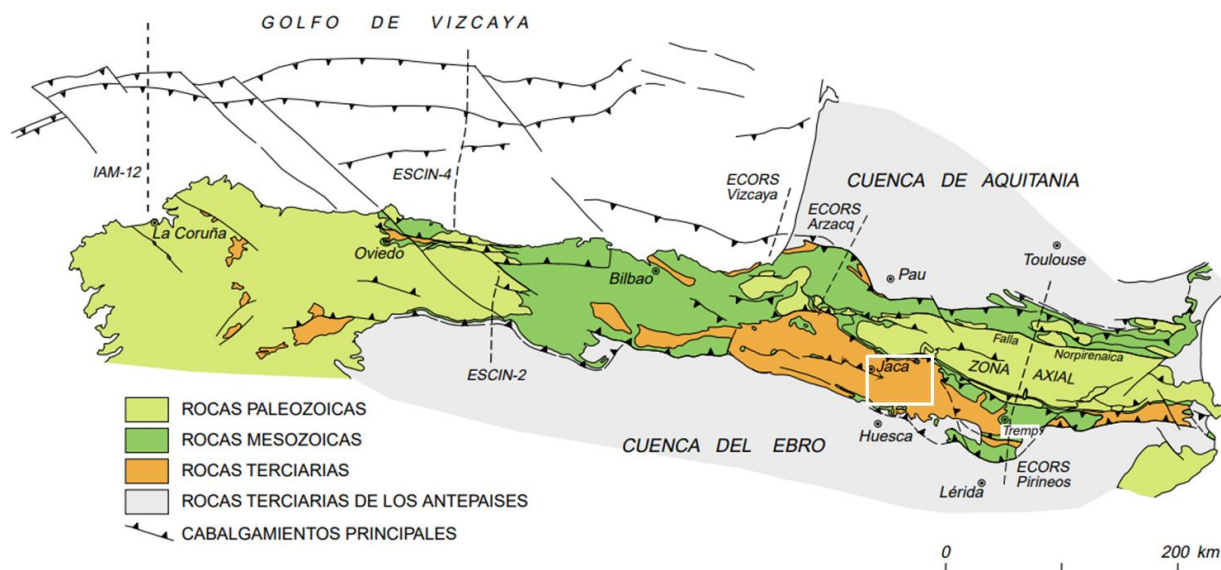


Figura A5.1. Mapa geológico de la cordillera pirenaica (Teixell et al, 1998). Área de estudio en recuadro blanco. Las líneas discontinuas indican la ubicación de los perfiles de sismica de reflexión profunda que se han realizado para investigar la estructura cortical de la cadena (programas ECORS, ESCI y IAM)

En el borde sur del orógeno y de forma paralela a la estructura de la cadena de la que forma parte, se encuentra la cuenca sinorogénica de Jaca, una cuenca de antepaís de relleno sedimentario de una cuenca "piggy back" o transportada (originada por la flexión de la litosfera y la acumulación de sedimentos) a resultas de la actividad tectónica compresiva durante el Eoceno inferior-Eoceno medio. Su registro estratigráfico muestra la evolución desde la sedimentación marina profunda durante el Eoceno inferior hasta la irrupción de ambientes transicionales y continentales que evidencian la colmatación de la cuenca durante el Eoceno superior y el Mioceno, al tiempo demuestran el control tectónico en la ciclicidad del sistema deltaico de Sabiñánigo con estratos de crecimiento atribuibles a la actividad del cabalgamiento de Oturia.

Actualmente, los materiales pre-orogénicos de la cuenca se encuentran plegados y cabalgados hacia el sur por la actividad orogénica alpina. Estos cabalgamientos limitan los diferentes mantos de corrimiento, porciones de corteza desplazadas, superpuestos como consecuencia de la orogenia, de manera que, en la actualidad, los que están estructuralmente más altos son los más antiguos, mientras que los más modernos se encuentran más próximos al frente de cabalgamiento, situado en el borde septentrional de la actual Cuenca del Ebro.

Como se puede observar en la Figura A5.2, Sabiñánigo se encuentra en el anticlinal de uno de los pliegues generados en esta etapa orogénica, el Anticlinal de Yebra de Basa, que representa la amortiguación lateral del cabalgamiento de Jaca.

Presenta una dirección de plegamiento WNW-ESE con inmersión muy marcada hacia el E, donde se sitúa su terminación periclinal. Se trata de un pliegue cilíndrico con eje axial subhorizontal y vergencia hacia el S. Tal y como se puede observar en la Figura A5.3, su flanco norte buza unos 20-30°, mientras que su flanco sur está invertido con un buzamiento de unos 80°.

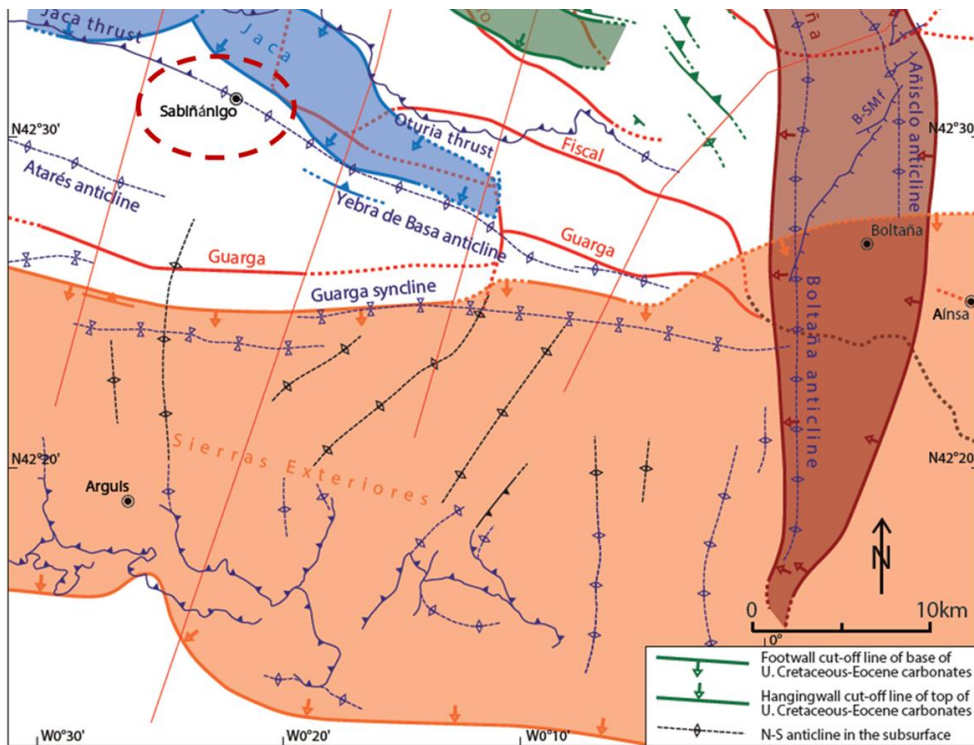


Figura A5.2. Mapa estructural a partir de perfiles sísmicos. (Pierre Labaume, A. Teixell, 2018)

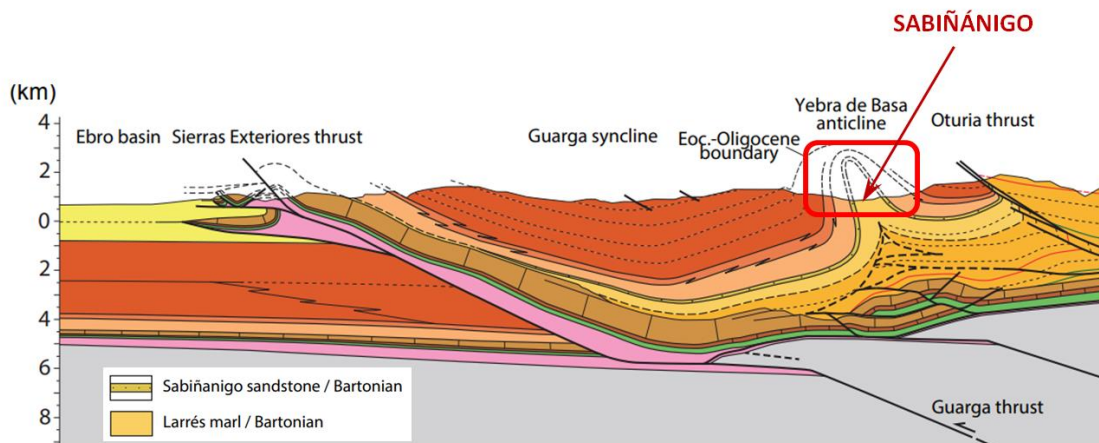


Figura A5.3. Corte estructural a través de los Pirineos por el área de estudio (modificado de Teixell et al, 2018).

Hay que destacar que, asociados a los esfuerzos tectónicos existentes durante las etapas de plegamiento, se generan una serie de familias de juntas características en los pliegues.

Por su interés, en la Figura A5.4.a se representa la distribución teórica característica de estas familias. Las flechas rojas muestran la dirección de compresión, denominada σ_1 , en cuya dirección se desarrollan juntas compresivas penetrantes de forma perpendicular a la estratificación con superficies rugosas debido a fenómenos de presión por disolución. Asociadas a estas juntas, típicamente se dan familias conjugadas debido a fenómenos de distensión, las cuales tienden a presentar paredes relativamente lisas y previsiblemente rellenas de material disuelto en agua y reprecipitado.

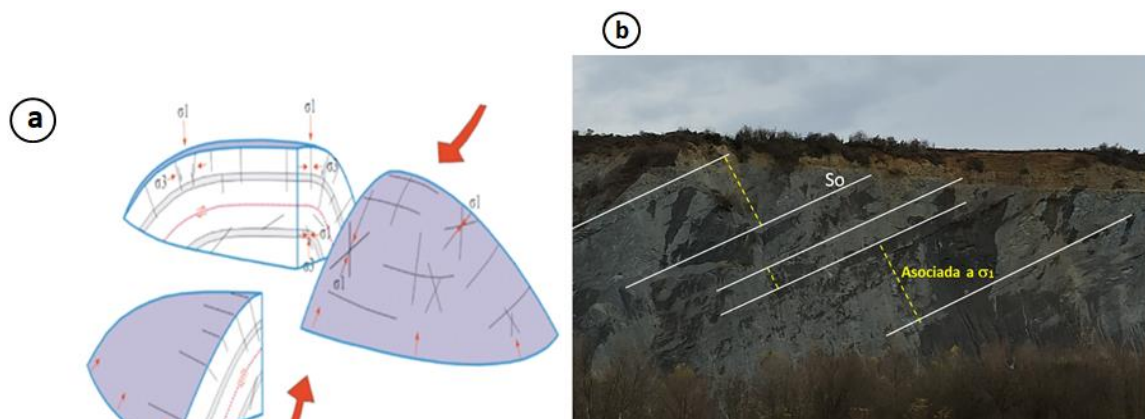


Figura A5.4. (a) Esquema de fracturación en pliegues. (b) Estratificación y juntas compresivas asociadas a σ_1 en las margas de Larrés, talud de río Gállego.

En particular, en el flanco norte del anticlinal, donde se sitúa el vertedero, se han observado estas familias de juntas en los sondeos realizados por la empresa IDOM y en las visitas de campo. Presentan una apertura de entre 1 a 3 mm y se corresponden con las siguientes orientaciones y denominación:

- Estratificación (S_0): Presentan un buzamiento subhorizontal de 10-30° hacia al noreste ($\approx 25^\circ/30^\circ$), coincidiendo con el plano axial.
- Juntas subverticales (perpendiculares a la estratificación): Juntas compresivas asociadas a la dirección de compresión σ_1 . Presentan un buzamiento de 75-85°.
- Juntas de distensión conjugadas (J_1 y J_2 , asociadas a la dirección de compresión): Presentan direcciones de buzamiento opuestas, J_1 (NW o SE) y J_2 (NE o SW), y buzamientos de entre 30-65°.

En la Figura A5.4.b, se muestra la disposición de la estratificación y las juntas compresivas asociadas a la dirección de compresión, σ_1 .

Estas familias de juntas y fracturación afectarían a los materiales pre-orogénicos eocenos de colmatación de la cuenca durante la etapa su plegamiento, de modo que estarían presentes en los materiales existentes en el núcleo del anticlinal, en este caso la Formación de Margas de Larrés, del Eoceno superior (Unidad 16 en el MAGNA, Figura A5.5), sobre los que se ubica el vertedero de Sardas.

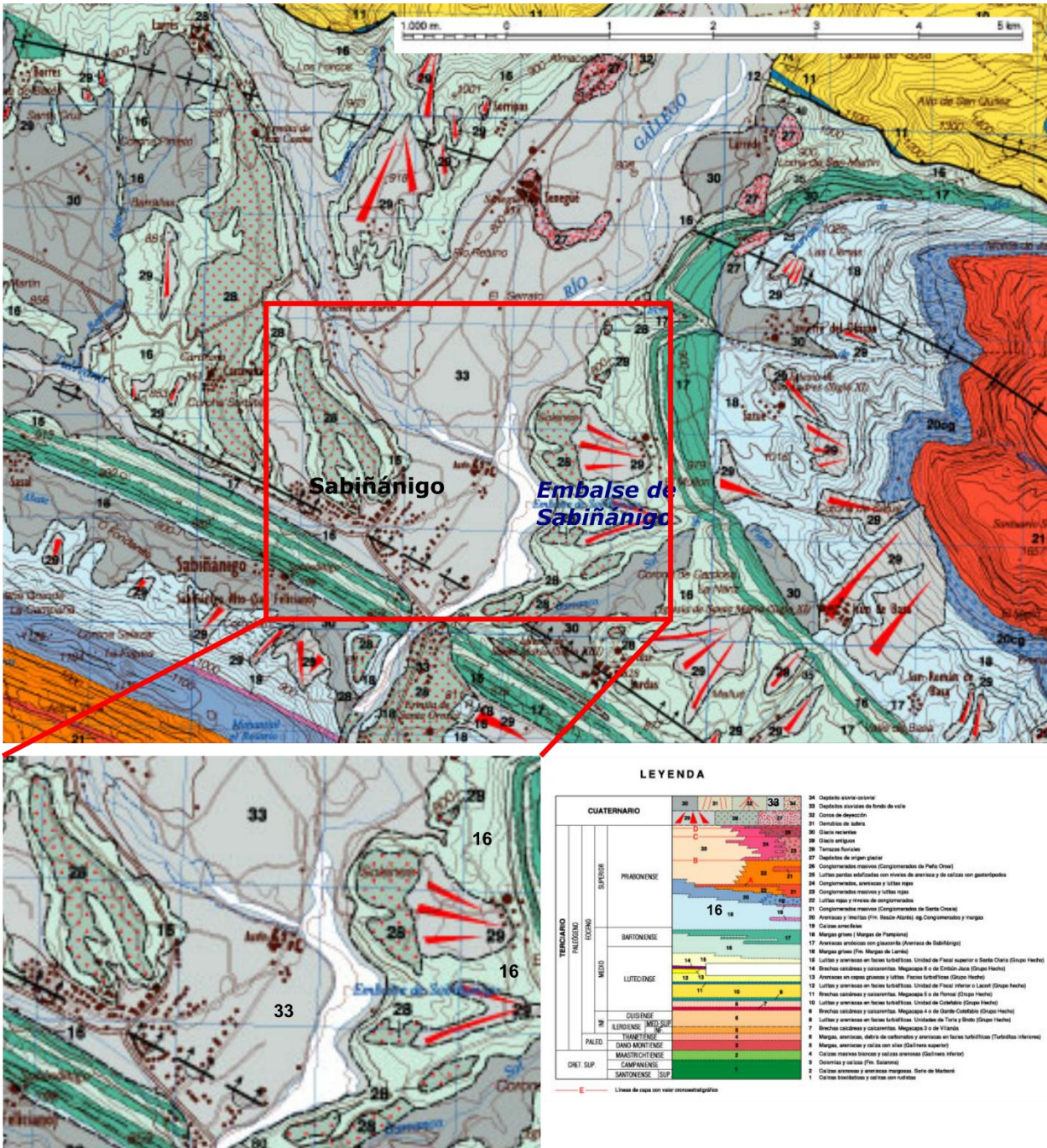


Figura A5.5. Área de estudio. Mapa Geológico Magna 1.50:000. Hoja 177

Estos materiales se caracterizan por la presencia de margas gris-azuladas con niveles intercalados delgados de areniscas, ligados a sedimentos de origen turbidítico de sistemas deltaicos de colmatación de la cuenca, que a techo van aumentando su contenido en arena hasta interdigitarse con la unidad superior (Areniscas de Sabiñánigo), colindante a ambos lados del eje axial. Las areniscas de Sabiñánigo no están presentes en la ubicación del vertedero (Figura A5.6).



Figura A5.6. Anticlinal tumbado de Yebra de Basa. La línea amarilla marca el eje axial del anticlinal. Las flechas rojas indican la dirección de compresión (σ_1).

Así, en los sondeos realizados en el área de estudio se han descrito margas fracturadas e incluso de cizalladura, con notable consistencia con lo antedicho sobre el reacomodo de las capas durante el proceso de plegamiento. Sin embargo, la documentación estudiada carece de suficientes datos estructurales para conocer la distribución espacial de estas fracturas que, al igual que en el vertedero de Bailín, es esperable que presenten conexión hidráulica, lo que condicionaría los procesos de migración de los residuos líquidos y de la pluma de contaminación a favor de estas discontinuidades y de las formaciones más permeables.

Además, hay que considerar la posibilidad de que la perforación de un cierto número de sondeos pueda haber favorecido la conexión de los niveles más superficiales contaminados por residuos con el sustrato margoso, posibilidad que dificultaría el estudio de migración.

Por último, en el área de estudio encontramos sedimentos cuaternarios del río Gállego, el cual intercepta de norte a sur el Anticlinal de Yebra de Basa, con un cauce marcadamente lineal y estructurado. Dichos sedimentos se disponen de forma discordante sobre los materiales Eocenos y no se encuentran afectados por la fracturación asociada a las etapas de plegamiento. Estos materiales corresponden a:

- Depósitos de Fondo de Valle (Unidad 33 en la Figura A5.5): compuestos por limos-arcillosos con pasadas de arena fina. Presentan potencias de entre 2 y 12 m, con espesores mayores próximos al pie de las cárcavas de la formación de margas. Es importante señalar que actúan como nivel semiconfinante del acuífero subyacente, con lo que amortigua el flujo de precipitaciones hacia éste.
- Depósitos de Terrazas (Unidad 28 en la Figura A5.5): compuestas por arenas y gravas, con niveles de limos arcillosos, hacia techo. Presentan potencias entre 2 y 6 m, encontrándose los mayores espesores hacia el embalse. Conforman el acuífero del río Gállego, por lo que al presentar conexión hidráulica con el embalse controlan el aporte de contaminantes a éste. Hay que hacer notar que estos depósitos están en contacto con los niveles de margas y presentan conexión hidráulica a

través de sus fracturas, lo que también favorece el flujo de agua desde las margas al embalse a través del acuífero cuaternario, y, por ende, resulta ser una dirección preferente de la contaminación hacia el río Gállego.

En la Figura A5.7 se muestra un esquema facilitado por la CHE con la ubicación de las principales estaciones de muestreo y control existentes en el entorno de Sabiñánigo.



Figura A5.7. Ubicación de estaciones de control en el entorno de Sabiñánigo (CHE, 2021)

Por otro lado, al sur del vertedero de Sardas, aguas abajo del embalse de Sabiñánigo, se encuentra el vertedero de Bailín, con las estaciones de toma de muestras RG-A-EDAR y RG-05, respectivamente, aguas arriba y aguas abajo de la vertiente de las capas de arenisca que comunican el vertedero de Bailín con el río Gállego, con la estación MZ-0 situada entre ambos puntos, y la estación SAICA (MZ-01) situada aguas abajo de las anteriores y del embalse de Jabarrella. Adicionalmente existen otras estaciones en el entorno de Sabiñánigo, tales como la RB-01, que está situada antes de la desembocadura del río Basa en el Gállego, la estación de aforos RG-02 o la RG-04, esta última situada en el canal hidroeléctrico a modo de “by pass” entre el embalse y la central de Sabiñánigo.

Así, al igual que el vertedero de Sardas, el vertedero de Bailín se encuentra en el anticlinal de Yebra de Basa, si bien en este caso en el flanco sur subvertical, sobre las denominadas Facies Bailín, del Grupo Campodarve. Corresponden a facies continentales detríticas de abanico aluvial y están compuestas por lutitas y limolitas rojas con numerosas intercalaciones de niveles de areniscas y conglomerados de potencial métrica (Unidad 9 en la Figura A5.8).

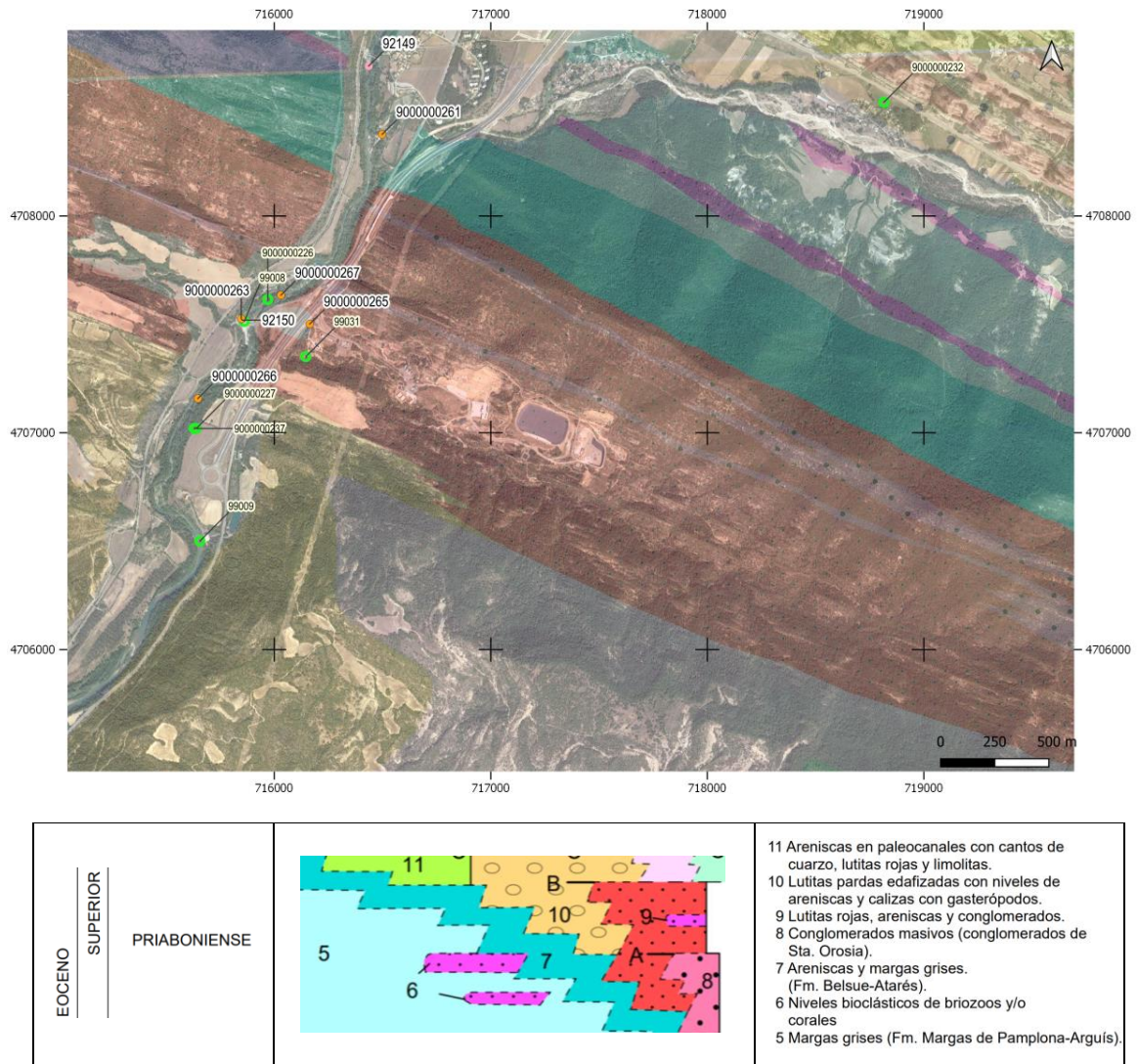


Figura A5.8. Situación y geología del vertedero de Bailín.

Este vertedero, que está afectado igualmente por lindano y el resto de residuos de su fabricación, presenta también conexión hidráulica con el río Gállego. Para la eliminación de los contaminantes, además de bombeos de fase libre, en este vertedero se han llevado a cabo tratamientos basados en ISCO y surfactantes. Aun cuando el vertedero de Bailín no es objeto del presente estudio, se ha considerado conveniente describir sucintamente las características geológicas e hidrogeológicas de su emplazamiento, toda vez que las muestras de aguas analizadas, próximas y aguas abajo de éste, podrían contener contaminantes procedentes de él. En la Figura A5.9 se muestra el corte geológico regional en el entorno de Sabiñánigo, destacando Bailín en la representación de la estructura anticlinal.

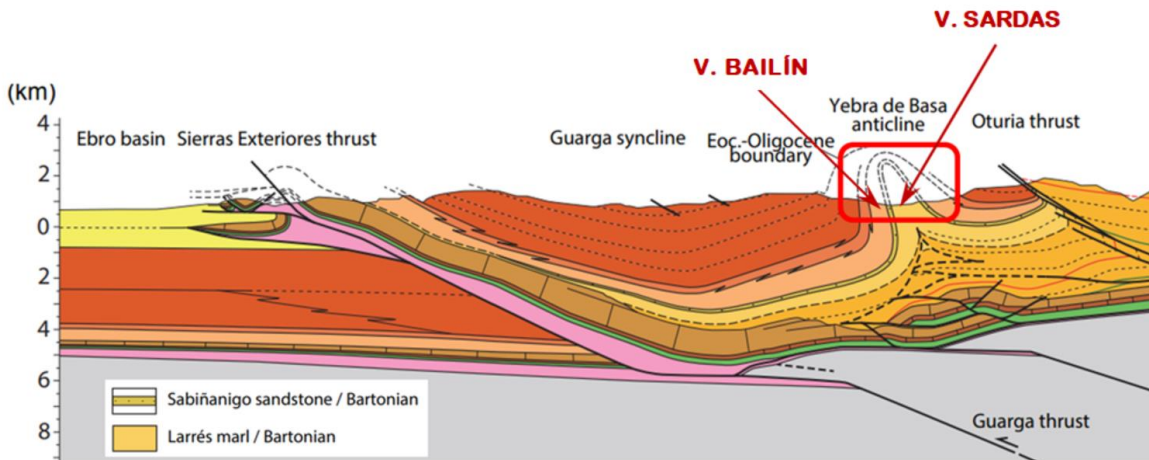


Figura A5.9 Corte geológico regional con la ubicación del emplazamiento

Dada su génesis, las capas de arenisca se acuñan lateralmente; se han nombrado localmente de norte a sur en orden alfabético, desde la "A" a la "U". Las capas de mayor extensión corresponden a I, K, M y O, y entre ellas, la capa M, la de mayor continuidad y extensión, tiene una disposición paralela al barranco de Bailín, y es la que las investigaciones realizadas en la zona han demostrado que es la principal responsable de la conexión hidráulica entre el vertedero y el río Gállego.

De hecho, estos materiales constituyen el acuífero de Bailín (acuífero localmente confinado) a través de una serie de familias de fracturas, subhorizontales y subverticales interconectadas entre sí y asociadas a la etapa de plegamiento. En los primeros metros el flujo de agua se da a través tanto de las areniscas como de las lutitas y limolitas, pero en profundidad la circulación del agua tiene lugar principalmente a través de fracturas en las capas de areniscas, en las que se han detectado planos de fracturación subverticales hasta los 90 m.

Así, la disposición del sistema de fracturación condiciona el flujo de agua hacia el río Gállego y, en este caso, además la migración de la pluma de contaminación generada por el contacto del agua con el HCH y el resto de residuos. De hecho, las mayores concentraciones de contaminantes orgánicos detectadas se han encontrado en la denominada capa M y sus inmediaciones.

A continuación se analiza de manera más detallada la información geológica contenida en la documentación de sondeos realizados en el vertedero de Sardas.

V.2 Vertedero de Sardas

Como ya se ha indicado, este vertedero de Sardas se ubica en las proximidades de la orilla Este de la cola del embalse de Sabiñánigo (río Gállego), colmatando las cárcavas en la formación de margas de Larrés y sus depósitos de glacia. Posteriormente, tras la construcción de la variante de Sabiñánigo de la N-330 en los años 90, también fueron afectados los materiales aluviales cuaternarios y de fondo de valle próximos al embalse, limos arcillosos y terrazas de arenas y gravas.

Debido a las características del área de estudio, se ha creído conveniente distinguir en ella tres zonas: vertedero, pantalla y formaciones aluviales de fondo de valle (Figura A5.10).

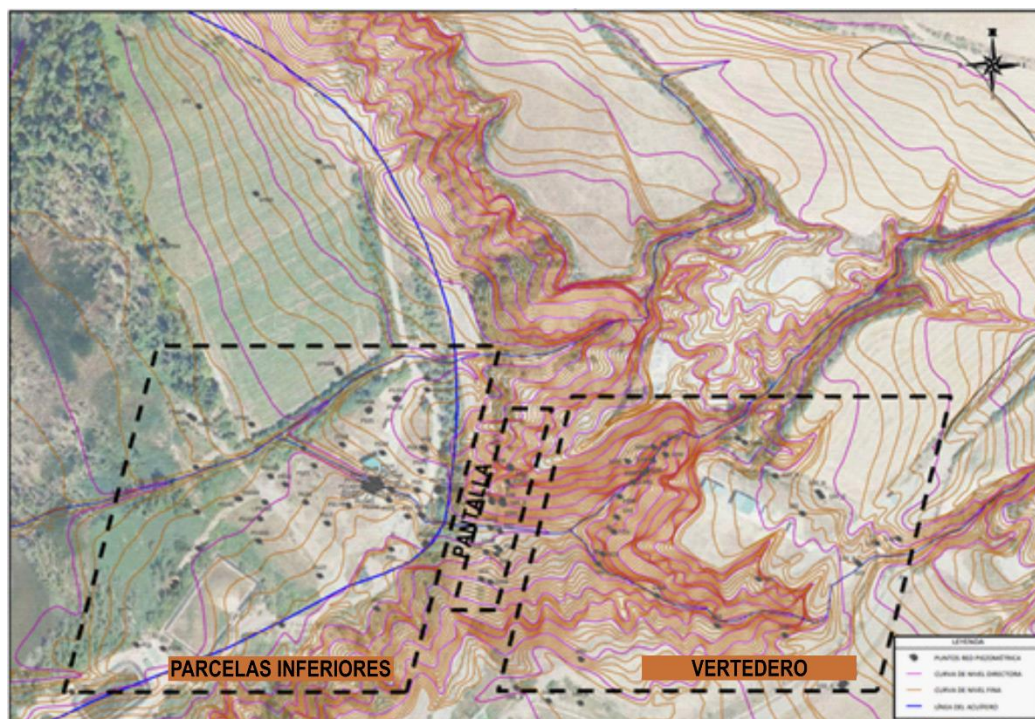


Figura A5.10. Zonas de estudio (Modificada de Plano 6.1 Memoria anual 2019 del Seguimiento Hidrogeológico de Sardas. AS13007-326)

Así, atendiendo a esta zonificación, a continuación se detallan las características litológicas en cada zona a partir de los sondeos realizados en el área general de estudio. Es importante señalar que, a tenor del gran número de sondeos realizados y la intervención de diversas empresas de sondeos en las diferentes etapas, se ha advertido que en ocasiones se cuenta con poca sistematización en la descripción litológica y estructural. Por esta razón, el CEDEX entendió que resultaba indispensable una revisión exhaustiva de los datos disponibles, especialmente de los partes de los sondeos, condensados en la Tabla A6.1, la Tabla A6.2 y la Tabla A6.3 del Anejo VI (Litología de suelos). Además, en el Anejo VI, se recogen salidas gráficas de la representación de los sondeos y sus litologías en el software Voxler de modelización geológica 3D. A resultados de esta labor global, de síntesis y unificadora, y habida cuenta del elevadísimo número de sondeos existentes, se considera que hay margen para depurar aún más el modelo geológico, en cuanto a distribución de fracturas, y representación espacial de lentejones y digitaciones de los distintos materiales cuaternarios.

A modo de resumen, y para evitar la reiteración en el texto, se recogen a continuación los valores de permeabilidad asignados a los modelos de flujo recogidos en las Memorias Anuales de EMGRISA.

- Rellenos: 0,1-2 m/d
- Limos: 0,01 m/d
- Gravas y arenas: 200 m/d
- Margas: 10^{-6} m/d
- Margas fracturadas: 0,04 m/d

V.2.1 Vertedero

V.2.1.1 Generalidades

Se ha estudiado la información de 31 sondeos, realizados entre 2010 y 2016: S-30 a S-39, S-41 y S-43.

En la Figura A5.11 se enmarca en línea discontinua negra su situación en esta zona del vertedero. Como se puede observar, la mayoría de los sondeos se encuentran alineados con el fondo de las cárcavas, las cuales denominaremos cárcava norte y cárcava sur. Ambas confluyen formando una “Y” tumbada con dirección este-oeste, que se prolonga hasta llegar al área que se designará como “pie de vertedero”, pasando por debajo de la zona de pantalla de bentonita-cemento.

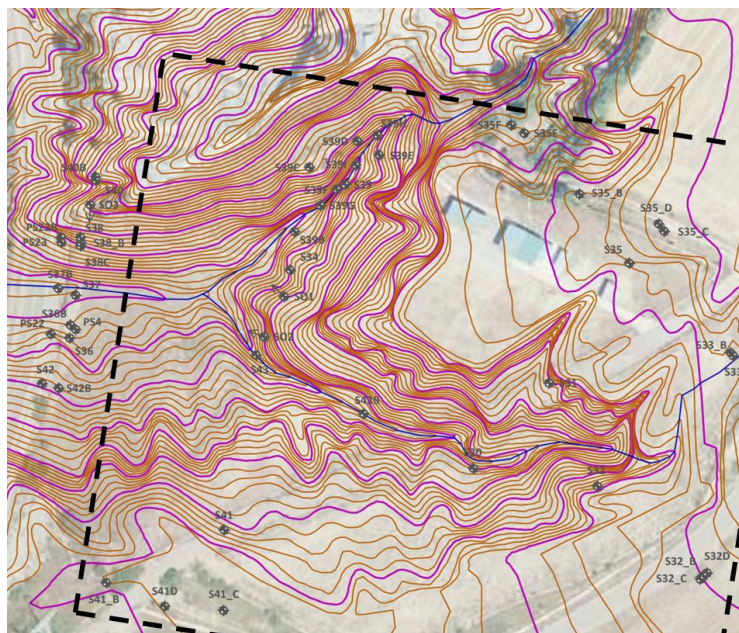


Figura A5.11. Zona del vertedero de Sardas. (Modificada de Plano 6.1 Memoria anual 2019 del Seguimiento Hidrogeológico de Sardas. AS13007-326)

EMGRISA (2014) ha extraído esta topografía por restitución fotogramétrica del vuelo 1957 (CEGET-CNIG, 2021). En el Plano 6.1 de la Memoria anual de Seguimiento Hidrogeológico se ha superpuesto la ubicación de los sondeos realizados a la topografía anterior al vertedero. En la Tabla A5.1 se presenta la ubicación en coordenadas UTM y la cota de los sondeos.

Seguidamente se detallan los materiales descritos en los sondeos. Además, el Anejo VI se puede consultar la síntesis de los materiales descritos en los sondeos en las correspondientes tablas del vertedero, pantalla y formaciones aluviales de fondo de valle.

Tabla A5.1. Sondeos verticales en el vertedero de Sardas

SONDEO	EMPRESA	AÑO	XUTM	YUTM	Z
S30	IDOM	2010	718391	4710264	814,404
S31	IDOM	2010	718415	4710292	816,163
S32	IDOM	2010	718431	4710258	816,988
S32B	IDOM	2010	718466	4710229	816,726
S32C	IDOM	2010	718465	4710228	816,647
S32D	JAREN	2011	718467	4710230	816,723
S33	IDOM	2010	718475	4710301	820,810
S33B	IDOM	2010	718474	4710302	820,855
S34	IDOM	2010	718331	4710328	814,170
S35	IDOM	2010	718442	4710331	818,698
S35B	IDOM	2010	718425	4710353	818,217
S35C	IDOM	2010	718453	4710341	820,228
S35D	IDOM	2010	718451	4710343	820,174
S35E	JAREN	2013	718407	4710373	810,414
S35F1	JAREN	2013	718406	4710376	810,452
S35F2	JAREN	2013	718406	4710376	810,452
S39	IDOM	2010	718349	4710356	815,171
S39B	JAREN	2013	718333	4710341	814,672
S39C	JAREN	2013	718338	4710362	815,279
S39D	JAREN	2013	718353	4710370	815,316
S39E	JAREN	2013	718360	4710366	815,376
S39F	JAREN	2014	718346	4710355	815,124
S39G	JAREN	2015	718341	4710349	815,059
S39H	JAREN	2015	718360	4710372	815,380
S39I	JAREN	2015	718353	4710362	815,262
S41	IDOM	2010	718310	4710244	809,099
S41B	IDOM	2010	718272	4710227	807,429
S41C	IDOM	2010	718310	4710218	808,469
S41D	JAREN	2011	718291	4710219	807,689
S43	JAREN	2016	718320	4710301	812,702
S43B	JAREN	2016	718355	4710282	812,153

V.2.1.2 Relleno

Los materiales de relleno vertidos en esta zona se encuentran “sellados” superficialmente por una lámina de PEAD (geomembrana) sujeta a modo de faldón por una “pantalla perimetral” de cemento-bentonita de escasa profundidad, unos 2-3 metros de la que no se dispone de información detallada más allá de los comentarios durante la visita del 15/04/21 y de los indicios de ésta encontrados en los sondeos S-35F.1 y S-35F.2. Por encima de esta lámina hay una cobertera arenosa de entre 0,60 y 2,20 m.

Los materiales de relleno bajo la lámina de PEAD son heterogéneos, restos urbanos (gravas, bolos, ladrillos, plásticos, maderas, fecales, etc.) e industriales (escorias, sacos, bidones, lodos anaranjados, disolventes, lindano en polvo, fase densa libre DNAPL (Dense Non Aqueous Phase Liquid), etc.). Los mayores espesores coinciden con las zonas de las cárcavas, con un máximo de 37 m de potencia en el sondeo S-39B, en la cárcava norte. La Tabla A5.2 resume los espesores de relleno y la presencia de contaminante, lindano y fase densa (DNAPL).

Tabla A5.2 Sondeos en el vertedero de Sardas a partir de profundidad de sellado. Espesor de relleno, presencia de HCH y DNAPL (*Dense Non Aqueous Phase Liquid*)

SONDEO	FECHA	RELLENO	UBICACIÓN
S-30	2010	1,80-18,25 Relleno de Vertedero 12,50-13,20 Lodos rojos 14,10-15,80 lodos negros y aceitosos	Parte superior cárcava sur
S-31	2010	1,50-14,80 Relleno de Vertedero 1,50-4,50, 5,80-6,30, 7,30-14,80 HCH en polvo	
S-32	2010	2,10-9,30 Relleno de Vertedero Algo de HCH Manchas negras (¿DNAPL?) y lodos rojos	
S-33	2010	0,60-3,60 Relleno Vertedero-Escombros	
S-33B	2010	0,60-3,30 Relleno Vertedero- Escombros	
S-34	2010	1,00-35,70 Relleno Vertedero	
S-39	2010	0,60-31,10 Relleno vertedero 0,60-5,00 algo HCH 10,20-16,00 sacos de HCH 16,80-31,10 DNAPL	Parte superior y media de la cárcava norte
S-39B	2013	0,60-37,50 Relleno vertedero 16,8-21,9 HCH 31,6-32,1 Lodos rojizos	
S-39C	2013	1,60-26,10 Relleno vertedero 9,5-10,00 y 14,5-15,5 Lodos anaranjados 16,8-22,5 HCH 26,00 Irisaciones e intenso olor	
S-39D	2013	1,70-29,70 Relleno vertedero 12,20 y 16,40-27,70 Lodos anaranjados 27,70-29,70 Gotas DNAPL	
S-39E	2013	1,60-29,00 Relleno vertedero 14,7-29,00 Alternancia tramos HCH, arcilla y M.O.	
S-39F	2014	0,80-31,60 Relleno vertedero 11,10-28,70 Alternancia tramos HCH, residuos urbanos oscuros 20,40 residuos industria química 29,70-31,60 Arcillas rojizas, Gotas DNAPL	
S-39G	2015	0,80-31,60 Relleno vertedero 12,70-26,40 Alternancia tramos HCH 26,40-31,80 Arcillas, lodos, restos antrópicos, gotas DNAPL	
S-39H	2015	2,20-27,80 Relleno vertedero 18,00-27,80 Alternancia tramos HCH 21,20 Gotas DNAPL	
S-39I	2015	1,70-31,60 Relleno vertedero 15,00-30,40 Alternancia tramos HCH 21,20-30,40 Pátinas rojizas, Gotas DNAPL	
S-41	2010	0,70-5,00 Relleno vertedero	
S-41B	2010	0-1,10 Relleno vertedero-Escombros	
S43	2016	1,00-36,70 Relleno vertedero	
S43B	2016	1,00-36,70 Relleno vertedero 16,20-17,20 HCH 21,60-23,10 Lodos rojizos	zona media cárcava sur

Durante la perforación de los sondeos en las cárcavas norte y sur se han encontrado HCH en polvo, DNAPL y lodos rojizos, que corresponde a los siguientes sondeos:

- Parte superior de la cárcava sur: S-30, S-31 y S-32
- Parte superior y media de la cárcava norte: grupo de sondeos S-39 y S-43B

Hay que destacar que estos materiales de relleno se disponen directamente sobre los limos subyacentes que se describen a continuación, sin ninguna medida de impermeabilización.

V.2.1.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

En los partes de los sondeos se describen bajo los rellenos unos materiales limo-arcillosos con presencia en algunos casos de “grava de marga”, con unas potencias del orden de 2 a 6 m.

Dado que las margas son altamente alterables expuestas a la intemperie, tal y como se pudo constatar en la visita realizada el 15/04/21 (Figura A5.12), no es descartable que estos materiales puedan corresponder tanto a la parte alterada superior de las margas o de depósitos de glacis, tal y como se describe en alguno de los sondeos.

En los sondeos del grupo S-39, realizados por JAREN, se deja constancia de cierto olor a contaminación. Sin embargo, en los sondeos realizados por IDOM no se valora este rasgo.



Figura A5.12. Detalle de formación de margas de Larrés alteradas en superficie

V.2.1.4 Formación Margas de Larrés

Bajo los primeros metros de alteración de las margas, se ha descrito el sustrato margoso en estado sano y en el que se puede observar con nitidez la existencia de distintas familias de juntas. Lamentablemente, tan solo en los sondeos de IDOM se han descrito de forma sistematizada. Así, en los sondeos 30, 32, 32B, 32C, 33, 35, 35B, 41, 41B y 41C, realizados en la parte alta del vertedero por esta empresa en el año 2010, se describen las familias de juntas.



Se trata de juntas con una apertura de entre 1 y 3 mm, con la siguiente descripción:

- Juntas subhorizontales, entre 10-30°, muy penetrativas, lisas y predominantemente sin relleno. En el caso de haberlo, se trata de arcilla, óxido, o calcita. El CEDEX sugiere la posibilidad de que se tratara de la estratificación del flanco norte, designada como S_0 .
- Juntas con buzamientos de entre 30-65°, normalmente con paredes lisas y presencia de relleno de calcita, arcilla y óxido. El CEDEX sugiere la posibilidad de interpretarlas como juntas conjugadas de distensión asociadas a la dirección de compresión. De ser así, presentarían direcciones de buzamiento opuestas, pero al no disponerse de observaciones directas en los sondeos no se pueden diferenciar cuáles de estas juntas se correspondería con buzamientos hacia el este u oeste.
- Juntas subverticales 75-85°, rugosas, sin relleno y perpendiculares a la estratificación, con presencia muy ocasional de relleno de calcita. Estas juntas podrían interpretarse como asociadas a la dirección de compresión σ_1 , de la etapa plegamiento.

Asimismo, en los sondeos S-32, S-32B, S-35C y S-35E se identifican a distintas profundidades tramos que se definen como “cizalladas por la elevada fracturación”, debido a la extracción de las margas “machacadas”. Por su interés, la Tabla A5.3 resume las profundidades a las que aparecen estas descripciones en los partes de sondeos.

Tabla A5.3. Profundidades en sondeos en las que se describen zonas cizalladas

SONDEO	COTA SONDEOS	PROFUNDIDAD (m) [Zonas de cizalla (machacadas)]
S-32	816,988	25,50-26,30 32-32,30 36,50-36,90
S-32B	816,726	14,70 15,40 20,00 25,80 Micropliegue: 28,90
S-35C	820,228	7,80-8,80 9,60-12,00
S-35E	810,414	15,20

En la Tabla A6.3 del Anejo VI se aporta la síntesis litológica de los sondeos del vertedero, y se incluyen las observaciones extraídas a partir de las fotografías de cajas de sondeos. Estas apreciaciones, al no corresponder a observaciones directas, no se pueden considerar definitivas para la realización de un estudio estructural. Así, dado que tanto las fotografías de cajas de sondeos como en el registro se muestra la existencia de distintas familias de juntas, así como la posibilidad de zonas de fractura “cizalladas”, se cree necesario un estudio estructural en detalle de su distribución, ya que ayudaría a identificar posibles vías preferentes de migración de DNAPL a través de alguna de las familias de fracturas.

V 2.2 Pantalla

V.2.2.1 Generalidades

En la Figura A5.13 se enmarca en línea discontinua negra su situación en esta área del vertedero.

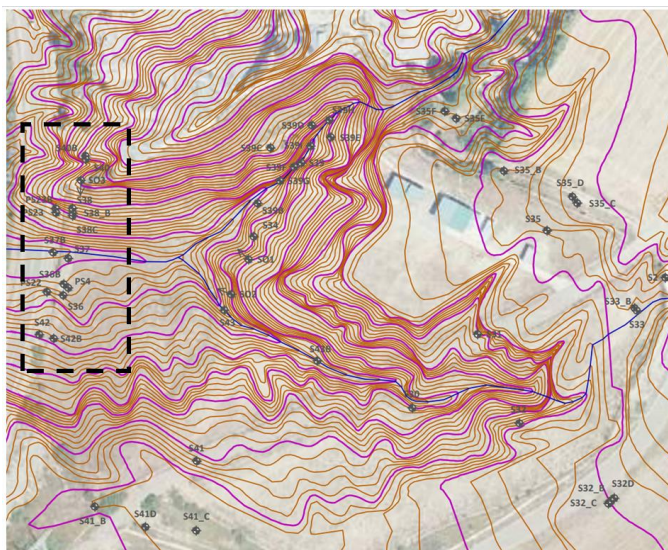


Figura A5.13. Zona Pantalla. (Modificada de Plano 6.1 Memoria anual 2019 del Seguimiento Hidrogeológico de Sardás. AS13007-326)

Se ha estudiado la información de 14 sondeos verticales (PS-22, PS-23, S36 a S-38, S-40 y S-42) y de 3 sondeos inclinados (S-O.1, S-O.2 y S-O.3), encaminados a estudiar los materiales existentes al pie del vertedero. En esta zona los sondeos verticales y el sondeo inclinado S-O.3 se ubican al pie del vertedero, junto a la carretera de circunvalación de Sabiñánigo, a ambos lados de la pantalla de cemento-bentonita, por lo que tienen una diferencia de cota de unos 27 m con los sondeos con mayor espesor de vertidos situados en la cabecera del vertedero, sondeos del grupo S-39, S-30 y S-31. Los sondeos S-O.1 y S-O.2 se han realizado en la parte superior.

En la Tabla A5.4 y en la Tabla A5.5 se recogen sendas síntesis de sondeos con el año de realización (entre 2010 y 2018), la empresa encargada de la perforación, su situación en coordenadas UTM, la cota y la inclinación, en el caso de los sondeos inclinados (Tabla A5.5). En la Tabla A6.2 del Anejo VI también se pueden consultar las tablas con la síntesis de los materiales descritos en los sondeos realizados en la zona de la pantalla.



Tabla A5.4. Sondeos verticales en el área de la Pantalla

SONDEO	EMPRESA	AÑO	XUTM	YUTM	Z
PS22	JAREN	2010	718 254	4 710 308	789,717
PS23	JAREN	2010	718 257	4 710 337	788,207
PS23B	JAREN	2017	718 257	4 710 339	788,132
S36	IDOM	2010	718 260	4 710 306	790,095
S36B	JAREN	2017	718 260	4 710 310	789,806
S37	IDOM	2010	718 262	4 710 320	789,102
S37B	JAREN	2015	718 256	4 710 322	788,757
S38	IDOM	2010	718 263	4 710 339	788,731
S38B	IDOM	2010	718 263	4 710 337	788,757
S38C	JAREN	2011	718 263	4 710 336	788,745
S40	JAREN	2013	718 268	4 710 357	786,285
S40B	JAREN	2013	718 268	4 710 359	786,254
S42	JAREN	2015	718 251	4 710 292	790,384
S42B	JAREN	2015	718 256	4 710 290	790,858

Tabla A5.5. Sondeos inclinados en el área de la Pantalla

SONDEO	EMPRESA	AÑO	Inclinación	XUTM	YUTM	Z
SO1	JAREN	2018	19,8°	718 329	4 710 320	814,3
SO2	JAREN	2018	38,0°	718 323	4 710 307	812,65
SO3	JAREN	2018	48,7°	718 266	4 710 349	787,65

V.2.2.2 Relleno

Los materiales de relleno vertidos en esta área se encuentran igualmente “sellados” por una lámina PEAD y cobertera vegetal. Únicamente en los sondeos PS-22, PS-23, PS-23B, S-37B, S-40 y S-42B no se describe la presencia de lámina de sellado durante la perforación. En el caso de los cuatro primeros el CEDEX entiende que es debido a que se encuentran al otro lado de la pantalla de cemento-bentonita.

Al igual que en la descripción para estos mismos materiales en la parte superior del vertedero, los rellenos en esta zona son también heterogéneos: restos urbanos (gravas, bolos, ladrillos, plásticos, maderas, fecales, etc.) e industriales (escorias, sacos, bidones, lodos anaranjados, disolventes, lindano en polvo, fase densa libre DNAPL, etc.).

En la Tabla A5.6 se resumen las profundidades en los sondeos, así como la presencia de contaminantes de lindano y DNAPL. Con objeto de aclarar la potencia y presencia de contaminación, se ha optado por ordenar los sondeos según su situación en la cárcava de confluencia de las denominadas cárcava norte y cárcava sur. Se han incluido únicamente los sondeos verticales.

Tabla A5.6. Espesor de relleno, presencia de HCH y DNAPL en sondeos en zona de pantalla

SONDEO	FECHA	RELLENO	UBICACIÓN
S-40	2013	0-1,30	Cabecera cárcava norte
S-40B	2013	0-1,4	
P23	2010	0-10,50 ≅ 10 m olor e impregnación DNAPL 16,80-17,10 negruzco y con olor	Margen norte de la cárcava
P-23B	2017	0-7,20 Relleno carretera 7,20-9,20 Relleno vertedero	
S-38	2010	1,10-7,50	Margen norte de la cárcava
S-38B	2010	1,40-8,60	
S-38C	2011	1,20-9,00	
S-37	2010	0,50-16,80 14,30-15,00 arcillas negruzcas	Fondo cárcava
S-37B	2015	0-9,00 Relleno carretera 9,00-16,50 Relleno vertedero 15,50-15,80 agua color negro 15,8-16,10 tramo arcilloso con gotas DNAPL	
P-22	2010	0-17,10 16,80-17,10 negruzco y con olor	
S-36	2010	0-17,30	Margen sur de la cárcava
S-36B	2017	0-17,10 15,00-15,20 HCH polvo	
S-42	2015	0-8,30 Relleno carretera 8,30-10,60 Relleno vertedero	Cabecera cárcava margen sur
S-42B	2015	0-11,70 8,40-9,60 lodos color violáceo (origen urbano)	

Así, se comprueba que los mayores espesores de material de relleno corresponden con los sondeos situados sobre el antiguo fondo de cárcava, sondeos S-37 y S-37B, llegando a ser éstos de unos 16,50 m. La longitud de la pantalla, cuyo módulo más largo es de 16 m, parece ser insuficiente para alcanzar los requisitos de impermeabilidad.

Hay que señalar que parece que se realizó un saneo parcial para el acondicionamiento de la explanada de la carretera N-330. En efecto, en el sondeo S-37B, se registraron 9 m de relleno de carretera, bajo el que se mantuvieron 7,50 m de relleno vertido (residuos) en los que se identificó fase densa (DNAPL); de modo similar, en el sondeo PS-23B se registraron 7,20 m de relleno para la carretera, manteniéndose unos 2 m de material de vertedero por debajo.

V.2.2.3 Depósitos de Glacis-Marga alterada

Bajo los materiales de relleno se describen unos materiales limo-arcillosos con presencia de “grava de marga” correspondientes a depósitos de glacis con una potencia puntual del orden a 2 m. Asimismo, los primeros 2 m aproximadamente del sustrato de margas se encuentran alterados, debido a su elevada alterabilidad son expuestas a la intemperie.

V.2.2.4 Margas

Lamentablemente, los sondeos realizados en esta área apenas describen las familias de juntas existentes. Únicamente se cuenta con la información de los sondeos S-38 y S-38B realizados por IDOM en el año 2010



y el S-40B realizado de JAREN en 2013. En ellos se describen dos familias de juntas con apertura de entre 1 a 3 mm y que se corresponden con los siguientes rasgos:

- Juntas con buzamientos de entre 30-50°, normalmente con paredes lisas y principalmente sin relleno. El CEDEX entiende que podrían identificarse como juntas conjugadas de distensión asociadas a la dirección de compresión. En tal caso, presentarían direcciones de buzamiento opuestas, pero al no disponerse de observaciones directas en los sondeos, no se pueden diferenciar cuales de estas juntas se correspondería con buzamientos hacia el este u oeste. En los partes de sondeos las atribuyen a la estratificación S_0 .
- Juntas subverticales 60-85°, rugosas, principalmente sin relleno. Estas juntas podrían interpretarse como juntas asociadas con la dirección de compresión σ_1 , de la etapa plegamiento.

En los sondeos S-38 Y S-38B, al igual que en los sondeos S-32, S-32B, S-35C y S-35E ubicados en la zona superior del vertedero, se describen zonas cizalladas a distintas profundidades con presencia de elevada fracturación. La Tabla A5.7 resume estas profundidades. Tales indicios podrían indicar la presencia de una falla. Ya se ha indicado que un estudio de geología estructural contribuiría a identificar posibles vías preferentes de migración del DNAPL.

Tabla A5.7. Profundidades en sondeos en las que se describen zonas cizalladas

SONDEO	COTA SONDEOS	PROFUNDIDAD (m) [Zonas de cizalla (machacadas)]
S-38	788,731	12,40-12,80 16,40-16,80
S-38B	788,757	Estría de movimiento a 12,65

V.2.3 Parcelas al pie del vertedero

V.2.3.1 Generalidades

Se ha estudiado la información de 63 sondeos, realizados entre 2009 y 2019: ST-1, ST-2, PS-1 a PS9, PS-13 a PS-21 y PS-24 a PS-29. La Tabla A5.8 recoge la situación en coordenadas UTM y cota de cada uno de ellos. Asimismo, en la Figura A5.14 queda ubicada su situación en esta área del vertedero.

Tabla A5.8. Sondeos en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

SONDEO	EMPRESA	AÑO	XUTM	YUTM	Z
ST1	GEOCISA	2009	718 082	4 710 332	766,108
ST1B	JAREN	2014	718 081	4 710 358	767,092
ST1C	JAREN	2014	718 083	4 710 310	766,398
ST1D	JAREN	2015	718 069	4 710 290	766,083
ST1E	JAREN	2015	718 067	4 710 287	766,004
ST1F	JAREN	2017	718 007	4 710 224	768,979
ST2	GEOCISA	2009	718 083	4 710 573	769,295
PS1	JAREN	2005	718 189	4 710 274	776,145
PS2	JAREN	2005	718 132	4 710 264	770,972
PS3	JAREN	2005	718 046	4 710 252	766,433
PS3B	JAREN	2017	718 062	4 710 250	769,315
PS5	JAREN	2009	718 212	4 710 345	775,422
PS6	JAREN	2009	718 197	4 710 310	775,583
PS7	JAREN	2009	718 207	4 710 329	775,339



SONDEO	EMPRESA	AÑO	XUTM	YUTM	Z
PS7B	JAREN	2014	718 215	4 710 330	776,155
PS7C	JAREN	2014	718 216	4 710 329	776,198
PS8	JAREN	2009	718 216	4 710 370	775,148
PS9	JAREN	2009	718 217	4 710 370	775,034
PS13	JAREN	2010	718 219	4 710 411	774,661
PS13B	JAREN	2017	718 219	4 710 404	774,989
PS14	JAREN	2010	718 189	4 710 351	774,155
PS14B	JAREN	2018	718 186	4 710 349	773,967
PS14C	JAREN	2018	718 185	4 710 352	773,937
PS14D	JAREN	2018	718 184	4 710 348	773,958
PS14E	JAREN	2019	718 186	4 710 346	774,109
PS14F	JAREN	2019	718 181	4 710 349	773,863
PS14G	JAREN	2019	718 184	4 710 345	774,069
PS14H	JAREN	2019	718 181	4 710 346	773,959
PS14I	JAREN	2019	718 189	4 710 348	774,13
PS14J	JAREN	2019	718 189	4 710 345	774,207
PS14K	JAREN	2019	718 186	4 710 344	774,157
PS14L	JAREN	2019	718 192	4 710 347	774,28
PS15	JAREN	2010	718 215	4 710 356	775,009
PS16	JAREN	2010	718 134	4 710 348	771,554
PS16B	JAREN	2013	718 107	4 710 340	769,448
PS16C	JAREN	2013	718 106	4 710 339	769,38
PS16D	JAREN	2014	718 126	4 710 353	770,56
PS16E	JAREN	2014	718 122	4 710 337	770,849
PS16F	JAREN	2014	718 119	4 710 328	770,474
PS16G	JAREN	2015	718 118	4 710 314	770,892
PS17	JAREN	2010	718 159	4 710 325	773,275
PS17B	JAREN	2014	718 172	4 710 336	773,541
PS18	JAREN	2010	718 168	4 710 372	772,562
PS19	JAREN	2010	718 196	4 710 339	774,537
PS19B	JAREN	2014	718 197	4 710 345	774,332
PS19C	JAREN	2014	718 198	4 710 344	774,427
PS20	JAREN	2010	718 146	4 710 337	772,418
PS21	JAREN	2010	718 151	4 710 359	772,295
PS21B	JAREN	2015	718 145	4 710 369	771,055
PS24	JAREN	2010	718 192	4 710 367	774,07
PS25	JAREN	2011	718 183	4 710 392	772,99
PS25B	JAREN	2011	718 184	4 710 393	773,096
PS25C	JAREN	2017	718 200	4 710 399	773,991
PS25D	JAREN	2017	718 201	4 710 399	774,032
PS26	JAREN	2011	718 078	4 710 388	766,719
PS26B	JAREN	2011	718 078	4 710 389	766,728
PS26C	JAREN	2013	718 080	4 710 387	766,743
PS27	JAREN	2013	718 155	4 710 294	773,184
PS28	JAREN	2013	718 217	4 710 312	776,624
PS28B	JAREN	2013	718 218	4 710 313	776,591
PS29	JAREN	2013	718 225	4 710 344	776,253
PS29B	JAREN	2013	718 225	4 710 345	776,316
PS29C	JAREN	2013	718 225	4 710 346	776,273

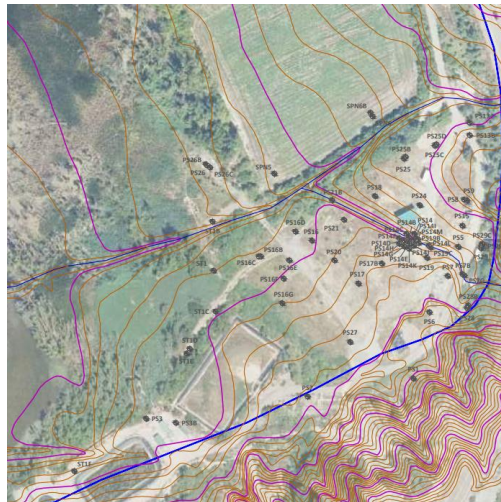


Figura A5.14. Parcelas al pie del vertedero de Sardas. (Modificada de Plano 6.1 Memoria anual 2019 del Seguimiento Hidrogeológico de Sardas. AS13007-326)

De techo a muro, la columna litológica en el área de estudio se compone de:

- Materiales Cuaternarios:
 - Relleno
 - Depósitos de glacis o fondo de valle: limos arcillosos
 - Depósitos aluviales: gravas y arenas
- Materiales Terciarios: Formación de Margas de Larrés.

A continuación, se describe cada una de las litologías, así como la eventual presencia de contaminante detectada en los sondeos.

V.2.3.2 Relleno

Los materiales de relleno predominantes en esta área corresponden a arenas, gravas, cantos y restos antrópicos (ladrillos, plásticos, etc.). Presentan un espesor medio de unos 4 m y un espesor máximo de 6 m (sondeos PS-5 y PS-7), dado que, como se puede observar en las Figuras A5.10 y A5.13, la topografía original de esta área es propia de una pequeña vaguada que discurría desde la confluencia de las cárcavas superiores en las margas aproximadamente en la zona de pie del vertedero.

En la Tabla A5.9 se recogen los espesores de relleno identificados en cada sondeo, así como la presencia de contaminante. En el Anejo VI se recogen las tablas de síntesis de las litologías de los sondeos realizados en el vertedero.

Tabla A5.9. Relación de sondeos en las formaciones aluviales de fondo de valle. Espesor de relleno, presencia de HCH y DNAPL

SONDEO	FECHA	ESPESOR RELLENO (m) [Contaminante]	SONDEO	FECHA	ESPESOR RELLENO (m) [Contaminante]
ST-1	2009	x	PS-15	2009	4,60
ST-1B	2014	2,10	PS-16	2009	4,50
ST-1C	2014	0,80	PS-16B	2013	3,80
ST-1D	2015	x	PS-16C	2013	3,20
ST-1E	2015	x	PS-16D	2014	3,20
ST-1F	2017	2,10	PS-16E	2014	4,60
ST-2	2009	x	PS-16F	2014	4,20
PS-1	2005	x	PS-16G	2015	3,70
PS-2	2005	x	PS-17	2009	4,50
PS-3	2005	x	PS-17B	2014	4,50
PS-3B	2017	x	PS-18	2009	4,20
PS-5	2009	6,00	PS-19	2010	4,10
PS-6	2009	2,10	PS-19B	2014	4,10
PS-7	2009	3,70	PS-19C	2014	4,30
PS-7B	2014	6,30	PS-20	2010	4,50
PS-7C	2014	5,80	PS-21	2010	4,00
PS-8	2009	2,60	PS-21B	2015	3,40
PS-9	2009	1,80	PS-24	2010	4,60
PS-13	2009	2,00	PS-25	2011	3,90
PS-13B	2017	1,80	PS-25B	2011	4,00
PS-14	2009	4,80	PS-25C	2017	2,50
PS-14B	2018	4,40	PS-25D	2017	2,40
		[A muro lixiviados]			
PS-14C	2019	4,20	PS-26	2011	1,20
		[A muro lixiviados]			
PS-14D	2018	4,80	PS-26B	2011	1,00
PS-14E	2019	4,50	PS-26C	2013	0,50
PS-14F	2019	5,00	PS-27	2013	3,60
PS-14G	2019	4,60	PS-28	2013	5,30
PS-14H	2019	4,30	PS-28B	2013	5,20
PS-14I	2019	4,80	PS-29	2013	4,80
		[Desde 4,5m HCH]			[1,20-1,80 DNAPL]
PS-14J	2019	4,70	PS-29B	2013	4,80
		[Manchas DNAPL]			[1,20-1,80 DNAPL]
PS-14K	2019	4,50	PS-29C	2013	4,80
		[A 4 m granos HCH]			[1,20-1,70 DNAPL]
PS-14L	2019	5,70			
		[HCH en polvo]			

Como se puede observar, la zona con mayor presencia de contaminación parece hallarse en los sondeos de los grupos PS-14 y PS-29. En ellos apareció lindano (HCH) en polvo, fase densa libre (DNAPL) y lixiviados en el contacto con el nivel infrayacente de limos arcillosos. Esta zona se encuentra en la vaguada a pie del vertedero descrito.

V.2.3.3 Fondo de Valle. Limos arcillosos

Los depósitos de relleno descritos se disponen sobre un nivel de limos arcillosos con presencia local de gravilla, en cuyo contacto los sondeos refieren la presencia de materia orgánica y restos vegetales, por lo que el relleno se vertió directamente sobre este terreno natural.

De la interpretación de los sondeos el CEDEX advierte que los espesores de limos son mayores al pie de la formación de Margas del Larrés, junto a la carretera, y se acúñan hacia el embalse. En la Figura A5.15 se han representado los espesores sobre la topografía del vuelo 1957 y se observa que la potencia de éstos concuerda razonablemente con las curvas de nivel. Por tanto, estos materiales corresponden a depósitos de glaciais o fondo de valle cuaternarios producto de la denudación de las Margas del Larrés colindantes.

Además, ha de hacerse notar que este nivel actúa como capa semiconfinante del acuífero que se encuentra en el nivel subyacente de gravas y arenas. Así, los partes de sondeos dejan clara constancia de que los niveles de limos se encuentran secos durante la perforación, y una vez se alcanza el nivel de gravas, el nivel piezométrico en éstas asciende desde la profundidad a la que se encuentran las gravas hasta una cota media de 765 msnm en los limos.

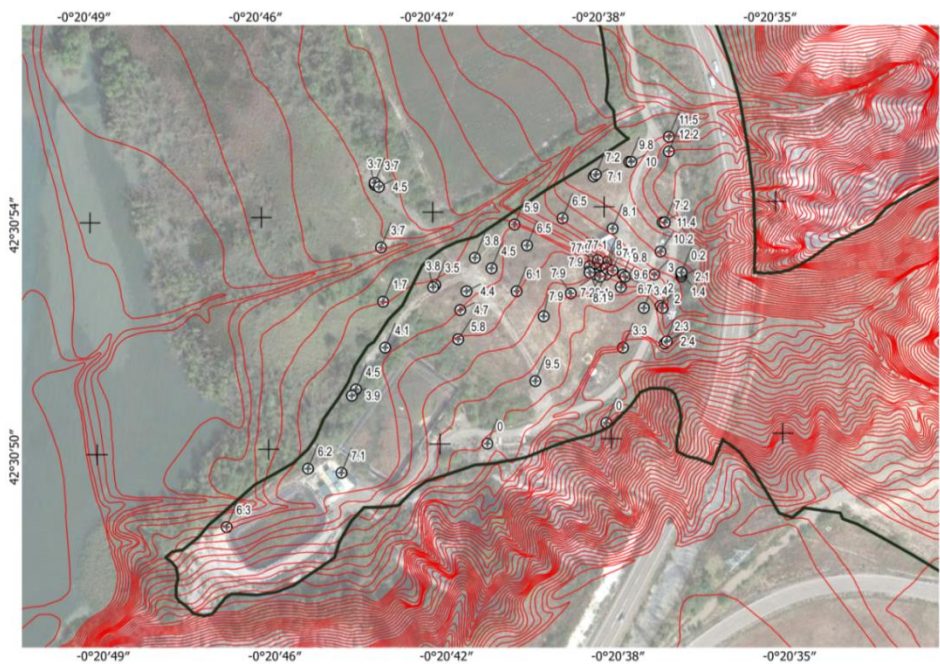


Figura A5.15. Espesores de limos en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

En cuanto a la presencia de contaminante, los partes mencionan olor en los tramos arcillosos, que es donde el contaminante se adsorbe más y se ha observado presencia de fase libre (DNAPL) en los siguientes puntos recogidos en la Tabla A5.10.

Tabla A5.10. Presencia de HCH y DNAPL en limos en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

SONDEO	FECHA	CONTAMINANTE EN LIMO
PS-7	2009	3.70-4.20 Arcilla gris verdosa con zonas negras de contaminación (¿Relleno?)
PS-14C	2019	Gotas de DNAPL
PS-14E	2019	A partir de 12 m gotas de DNAPL
PS-14F	2019	A 9 m gotas de DNAPL
PS-14I	2019	4.80-6.30 negruzco, M.O DNAPL e irisaciones A partir de 10.20 gotas DNAPL
PS-14J	2019	4.70-5.30 negruzco, Irisaciones
PS-14K	2019	8.10 negruzcos
PS-14L	2019	5.70-6.00 fango negruzco, Irisaciones, Gotas DNAPL a muro
PS-28	2013	7 m pátina anaranjada

V.2.3.4 Depósitos aluviales. Gravas y arenas

Bajo el nivel de limos se dan los depósitos aluviales cuaternarios del río Gállego. Se trata de unos niveles de arenas y gravas que, al contrario que los limos y como cabe esperar, presentan una mayor potencia en las proximidades del embalse, de unos 5-6 m (sondeos ST-1, ST-1F, PS-16B y PS-16C) y se acúan hacia el pie de las margas.

Entre 0,50 y 1 m de profundidad aproximadamente aparecen unas arenas finas-medias que pasan en profundidad a gravas areno-arcillosas y se apoyan de forma discordante sobre la formación de margas de Larrés. En la Figura A5.16 se han representado los espesores descritos en los sondeos sobre la topografía del vuelo 1957. Este nivel aluvial corresponde al acuífero del río Gállego, por lo que conecta hidráulicamente con el embalse. Es un acuífero libre con la excepción de zonas locales semiconfinadas por niveles de limos.

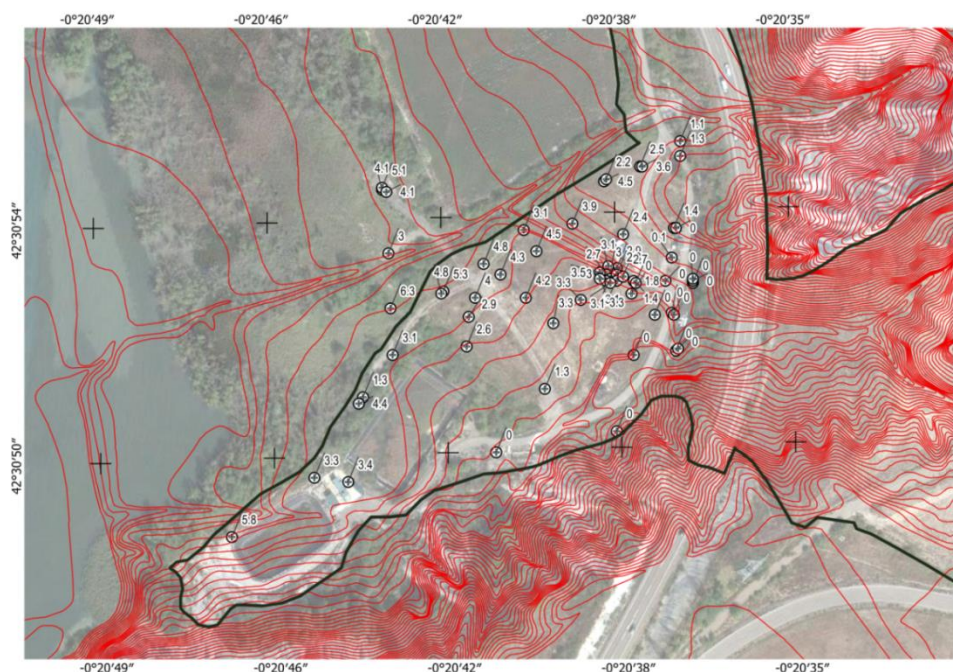


Figura A5.16. Espesores de gravas y arenas en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

En cuanto a la presencia de contaminante, se describe olor en distintos tramos arcillosos y arenosos, así como presencia de fase libre (DNAPL) en los puntos compilados en la Tabla A5.11. Al igual que en el caso



del relleno y éstos se ubican de la zona de vaguada a continuación de en la zona de salida a pie del vertedero de la confluencia de las cárcavas superiores.

Tabla A5.11. Presencia de DNAPL en gravas y arenas en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

SONDEO	FECHA	GRAVAS ARENOSAS
PS-14B	2018	Gotas de DNAPL a muro.
PS-14C	2019	Gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO
PS-14D	2018	Abundantes gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO
PS-14E	2019	16.00 m testigo impregnado en DNAPL
PS-14G	2019	A partir de 13 m Irisaciones y olor
PS-14H	2019	12.40-12.70 m Irisaciones y olor
PS-14I	2019	Irisaciones y olor
PS-14J	2019	Irisaciones y olor 15.40 gotas DNAPL
PS-14L	2019	Irisaciones y olor 14.90 gotas DNAPL

V.2.3.5 Marga alterada

Por último, a muro de la columna litológica, bajo los niveles cuaternarios, se encuentra la formación de margas de Larrés. En superficie las margas se encuentran alteradas en sus primeros 2-3 m, pudiéndose confundir en algunos casos con los depósitos de glaciares superiores, de igual composición.

V.2.3.6 Margas

Al igual que en los tramos anteriores, en los sondeos realizados en esta área apenas se describen las familias de juntas existentes. Únicamente se cuenta con la información de los sondeos PS-13B, S-17B, S-26C y S-27, realizados por la empresa JAREN en los años 2017, 2014, 2011 y 2013, respectivamente, en los que se describen fracturas a 40-45°.

No obstante, se dispone de fotografías de los testigos de algunos sondeos en los que se puede apreciar distintas familias de juntas. En el Anejo VI, en la síntesis de los sondeos, en su apartado de observaciones se incluyen apreciaciones del CEDEX a partir de las fotografías de cajas de sondeos. Por no corresponder a observaciones directas, dichas apreciaciones no se pueden considerar definitivas para la realización de un estudio estructural.

Hay que destacar que en esta área, en la zona de vaguada aguas abajo de la confluencia de las cárcavas superiores y en el grupo de los sondeos PS-14, se califican las margas como muy fracturadas.

Igualmente, en los sondeos PS-7, PS-6, PS-13B, PS-21, PS-24, y PS-25 se describen alternancias de tramos muy fracturados con zonas sanas. En concreto, en el PS-25 se define una zona de "cizalla" a 19,70-20,50 m de profundidad.

Así, dado que tanto las fotografías de cajas de sondeos como en los registros evidencian la existencia de distintas familias de juntas, así como indicios de zonas de fractura acordes con las definidas como zonas "cizalladas" en las margas bajo los materiales de relleno en las zonas del vertedero y zona de pantalla, se ha realizado un reconocimiento de campo de su distribución con objeto de definir posibles entradas de agua al vertedero y salidas de DNAPL y otros residuos líquidos a través de estas discontinuidades, cuyos resultados se exponen en el núcleo del informe. De hecho, se ha detectado fase libre (DNAPL) tanto en los

sondeos del grupo PS-14 como en los sondeos PS-15, PS-29 y PS-25. En este último se halló a una profundidad de 37,5 m, lo que refuerza la idea de que las familias de juntas y posibles zonas de falla o zonas de cizalla asociadas al plegamiento son una vía migratoria preferencial de contaminantes desde el vertedero.

Las familias que el CEDEX ha encontrado están en notable consonancia con las descritas en los sondeos del entorno del vertedero (Apartado V.2.1.4) y de la pantalla (Apartado V.2.2.4). En este caso, son:

- Subhorizontales
- Juntas con buzamientos de entre 30-50°. Al no disponerse de observaciones directas en los sondeos no se pueden diferenciar cuales de estas juntas se correspondería con buzamientos hacia el este u oeste.
- Juntas subverticales 60-85°.

V.3 Presa y embalse de Sabiñánigo

V.3.1 Generalidades

Se ha estudiado la información de 24 sondeos realizados en el año 2009 por la empresa Geocisa. Los sondeos fueron realizados sobre pontona en el propio embalse (SE-1 a SE-23) y en su orilla oeste (ST-3 a ST-6). En la Figura A5.17 se muestra su situación de los mismos y en la Tabla A5.12 y en la Tabla A5.13 sus coordenadas UTM. Se carece de información de la cimentación de la cerrada del embalse.

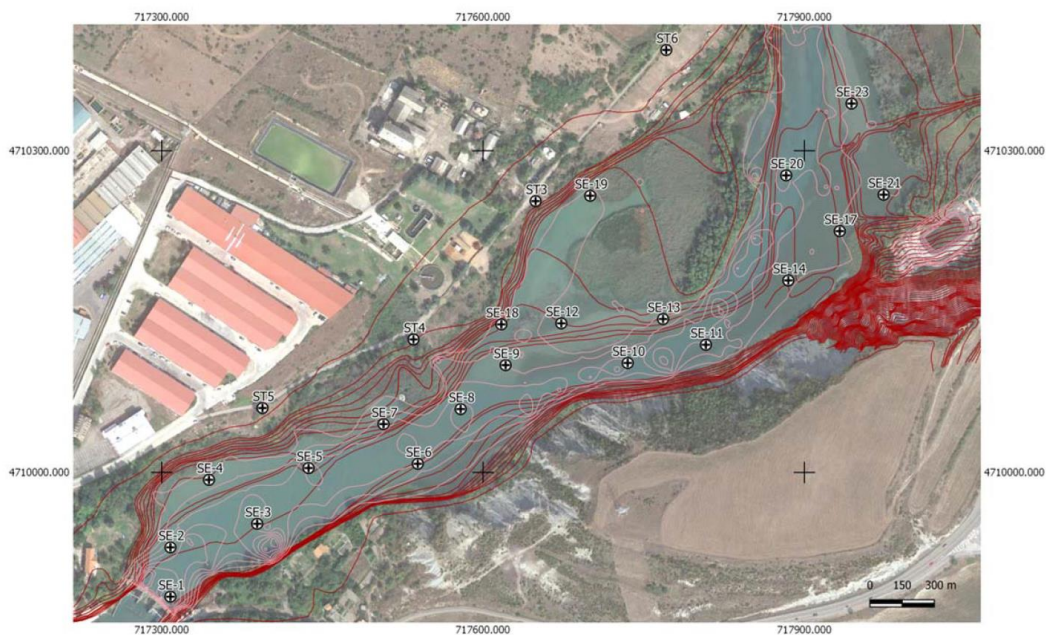


Figura A5.17. Situación de sondeos en Embalse de Sabiñánigo y orilla



Tabla A5.12. Sondeos en el Embalse de Sabiñánigo

SONDEO	XUTM	YUTM	Z
SE-1	717 308	4 709 884	764
SE-2	717 308	4 709 930	764
SE-3	717 389	4 709 952	764
SE-4	717 344	4 709 993	764
SE-5	717 437	4 710 004	764
SE-6	717 539	4 710 008	764
SE-7	717 507	4 710 045	764
SE-8	717 579	4 710 059	764
SE-9	717 621	4 710 100	764
SE-10	717 735	4 710 102	764
SE-11	717 808	4 710 119	765
SE-12	717 673	4 710 139	765
SE-13	717 768	4 710 143	765
SE-14	717 885	4 710 179	765
SE-17	717 933	4 710 225	765
SE-18	717 617	4 710 138	765
SE-19	717 700	4 710 258	765
SE-20	717 883	4 710 277	765
SE-21	717 974	4 710 259	765
SE-23	717 944	4 710 344	765

Tabla A5.13. Sondeos en la orilla del embalse

SONDEO	XUTM	YUTM	Z
ST3	717 649	4 710 253	768,381
ST4	717 535	4 710 124	766,354
ST5	717 394	4 710 060	772,638
ST6	717 771	4 710 394	771,497

V.3.2 Sondeos en el embalse

Los materiales descritos en el vaso del embalse corresponden, a techo, a los depósitos actuales producto del cambio de régimen hidráulico por la construcción de la presa y, bajo éstos, los propios depósitos aluviales cuaternarios del río Gállego. Estos sedimentos se apoyan, de forma discordante, sobre el substrato terciario que, en este caso, se describe en los sondeos como areniscas margosas.

A continuación, se detallan las unidades litológicas referidas en los sondeos.

V.3.3 Sedimentos aluviales actuales

En los sondeos realizados en el embalse se describen, a techo, unos depósitos de sedimentos actuales correspondientes a una alternancia de limos y arenas finas. Los mayores espesores descritos se encuentran en los sondeos ubicados en las proximidades de la orilla oeste, con unas potencias de sedimentos de 9,55 m en el sondeo S-18 y de 11,40 m en el sondeo S-4. En la zona central del embalse presentan unos espesores medios entre 5 y 7,5 m, en tanto que en la cola del embalse presentan los menores espesores, de 2,50 m en sondeo S-23.

En estos sedimentos actuales se refirió olor a disolventes, con mayor intensidad en los sondeos S-19 y SE-18, este último con presencia de nódulos de HCH entre 7,30 y 7,95 m de profundidad. Los únicos sondeos



en los que no se notifica olor a disolventes son: S-17, S-20, S-21 y S-23 (en la cola del embalse) y en los sondeos SE-2, SE-6, SE-8 y SE-10.

V.3.4 Depósitos aluviales. Gravas y arenas

Bajo los depósitos arcillo-limosos actuales se describen unas gravas heterométricas de cantos poligénicos redondeados con niveles de arena fina. No es posible acotar su potencia para todo el vaso del embalse, puesto que únicamente los sondeos SE-1 a SE-5 y el SE-7 interceptaron el sustrato terciario.

Así, los espesores medios descritos a partir de estos sondeos corresponden a 0,75-1,90 m. Hay que destacar que el sondeo SE-2 presenta una potencia atípica con lo detectado en el resto de los sondeos de 12,70 m.

V.3.5 Arenisca margosa

Por último, bajo los niveles cuaternarios se describen unas areniscas margosas. Puesto que los sondeos no han profundizado lo suficiente, no se dispone de una descripción litológica detallada ni de datos estructurales.

V.3.6 Sondeos en la orilla del embalse

Los depósitos en la orilla del embalse corresponden igualmente a depósitos cuaternarios, de terraza aluvial o coluvial, que al igual que en el caso de los sedimentos del embalse, se depositan de forma discordante, sobre el sustrato terciario (en este caso descrito en los sondeos como margas, margas arenosas y arenisca margosa). Localmente, en los sondeos ST-3, ST-4 y ST-5 se han identificado rellenos antrópicos de material natural, gravas arenosas.

A continuación, se detallan las unidades litológicas referidas en los sondeos.

1.1.1.1.1 Relleno

En los sondeos ST-3, ST-4 y ST-5 se describe la existencia de un nivel de gravas arenosas con unos espesores de 0,60, 1,00 y 3,00 m, respectivamente, que se atribuyen a rellenos antrópicos.

1.1.1.1.2 Depósitos aluviales. Gravas y arenas

Bajo los niveles anteriores se dan unas gravas heterométricas de cantos poligénicos, metamórficos y de cuarcita, redondeados, con niveles de arena fina. Presentan unos espesores de entre 2,60 y 3,85 m. Únicamente en el sondeo ST-5 se atribuyen estos materiales a rellenos, con un espesor de 3,00 m, bajo los que se describen 0,40 m de limo arcilloso definido como cuaternario coluvial.

1.1.1.1.3 Arenisca margosa

Por último, bajo los niveles cuaternarios se describe el sustrato terciario, margas, margas arenosas o arenisca margosa que presenta unos 10-20 cm superficiales alterados a limos o gravilla margosa. En el sondeo ST-4, en el que se describe como arenisca margosa de arena de grano medio-fino, se define la estratificación buzando 70°.



CEDEX



CEDEX

ANEJO VI LITOLOGÍA DE SUELOS



ANÁLISIS DEL IMPACTO DE LA CONTAMINACIÓN POR LINDANO DEL VERTEDERO DE SARDAS (SABIÑÁNIGO) EN EL RÍO GÁLLEGO

CEDEX

MINISTERIO
DE TRANSPORTES, MOVILIDAD
Y AGENDA URBANA

MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO

CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS



ANEJO VI. LITOLOGÍA DE SUELOS

Tabla A6.1. Resumen de datos extraídos de los sondeos realizados en el vertedero de Sardas: Zona ALUVIAL

SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
ST-1	GEOCISA	2009	0-0.10	x	0.10-1.70 Limos arcilloso Leve olor a 1.20 desaparece el olor	1.70-8.00 1.70-5.60 Arcilla limosa con pasadas de arena 5.60-8.00 Gravas arenosa con pasadas de arena. Ligero olor	x	8.00-9.50	1.80	Dos datos a 1 y 2 metros: 0	Ligero olor en gravas
ST-1B	JAREN	2014	x	0-2.10 Posible relleno Arena arcillosa	2.10-5.80 Limos areno arcillosos con indicios de grava	5.80-8.80 Gravas arenosa con pasadas de arena. Ligero olor	8.80-9.00 Fin de sondeo Ligero olor	x	2	- Cada metro: Relleno 0.4 0.8 Limos: 2.6 2.6 3.3 Gravas: 2.9 1.9 3.5 Margas 36.5	Ligero olor en limos y arenas



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
ST-1C	JAREN	2014	x	0-0.80 Limo arcilloso (Plataforma de perforación)	0.80-4.90 Limos areno arcillosos	4.90-8.00 0.20 m arenas medias-finas. Gravas arenosa con pasadas de arena	x	8.00-8.30	2	0-1.5	Ligero olor en gravas	
ST-1D	JAREN	2015	0-0.80	x	0.80-5.30 Arcillas margosas	5.30-6.60 Gravas arenosa con pasadas de arena	x	x	6.6	0	Ligero olor	
ST-1E	JAREN	2015	0-0.70	x	0.70-4.60 Limos areno arcillosos	4.60-9.00 4.90-5.60 arenas medias-finas Gravas arenosa con pasadas de arena	x	9.00-9.60	5	0	Ligero olor	
ST-1F	JAREN	2017	x	0-2.10 Gravas y cantos	2.10-8.40 Limos areno arcillosos con indicios de grava y M.O.	8.40-14.20 0.20 m arenas medias-finas Gravas arenosa con pasadas de arena	x	14.20-14.40	x	0	NO	
ST-2	GEOCISA	2009	0-0.30	x	0.30-6.00 Limos arcillosos con indicios de arena muy fina	6.00-10.60 Gravas arenosa con bastante arcilla y pasadas de arena	10.60-10.80	10.80-11.50	4.50	0	NO	
PS-1	EGA 2002	2005	0-0.5	x	x	x	0.50-1.80	1.80-5.00	x	x	x	
PS-2	EGA 2002	2005	0-0.5	x	x	x	0.50-2.10	2.10-5.00	x	x	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-3	EGA 2002	2005	x	x	0.00-6.20 Limos arena arcillosos con indicios de grava	6.20-9.50	x	9.60-14.00 Ligeramente alterada en los primeros centímetros	x	x	x	
PS-3B	JAREN	2017	x	x	0.50-7.60 Ligeramente arenosos con presencia ocasional de gravilla y M.O	7.60-11.00 Arenas en los primeros 20 cm	¿?	11.00-11.40	x	0	NO	0-0.5 Solera de hormigón
PS-5	JAREN	2009	0-0.2	0.20-6.00	6.00-9.00 Limos arena arcillosos con indicios de grava	x	9.00-11.40 Limos arcillosos con contactos de margas (¿Marga alterada?)	11.40-17.60 Margas fracturadas algo alteradas	x	x	Olor de 1.80 a 6.00	Zona confluencia y salida de cárcavas
PS-6	JAREN	2009	0-0.2	0.20-2.10	2.10-5.40 Arcillas margosas gris verdoso (¿Marga alterada?)	x	5.40-6.00 Marga alterada color gris No se aprecia olor a contaminación	6.10-13.30 6.10-6.30 y 8.80- 9.00 muestras contaminadas A 7.50 m zona muy fracturada 10.60-13.30 muy sanas poco fracturadas	x	x	NO	
PS-7	JAREN	2009	0-0.5	0.50-3.70 Bastante olor a contaminación	3.70-4.20 Arcilla gris verdosa con zonas negras de contaminación (¿Relleno?) 4.20-6.00 arcilla ocre 6.00-7.60 limos arcillosos	x	7.60-18.50 Tramos bastante fracturados	18.50-20.10	x	x	Olor hasta techo de margas	Zona confluencia y salida de cárcavas



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-7B	JAREN	2014	x	0.00-6.30 0.00-0.90 cm Zahorra de la carretera 4.30-6.30 mayor presencia de arcilla	6.30-8.00 Limos con zonas de marga alterada (¿Transito de marga alterada?)	x	8.00-13.5 Olor a techo Pocas fracturas hacia muro	x	x	- Cada metro: Relleno: 6 32.3 23 149 (arcilla) 202 (arcilla) 49.4 Limos: 26.2 45.0 (contacto limo-marga) Marga: 13.9 11.5 7.7 12.5	Olor hasta techo de margas	Zona confluencia y salida de cárcavas
PS-7C	JAREN	2014	x	0.00-5.80 0.00-0.80 cm Zahorra de la carretera 4.20 M.O.	5.80-6.80 Fin de sondeo Limo arenoso	x	x	x	x	- Cada metro: Relleno: 11,3 10,6 4.9 4 1111 (DNAPL) Limos 202 (contacto relleno- limo)	Ligero olor en todo el sondeo 5.10-5.80 Gotas DNAPL	Zona confluencia y salida de cárcavas



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-8	JAREN	2009	0-0.5	0.5-2.60	2.60-14.00 Limos arcillosos/arcillas limosas	14.00-15.40 14-14.60 arena 14.6-15.4 grava	x	15.40-21.00	x	x	NO	
PS-9	JAREN	2009	0-0.4	0.4-1.80	1.80-9.00 Fin de sondeo 1.80-3.00 arcilla 3.00-9.00 limos arcillosos con gravilla	x	x	x	x	x	NO	
PS-13	JAREN	2009	0-0.15	0.15-2.00 2.10 M.O.	2.10-13.60 Limo areno arcilloso con pasadas de arena, inicios de grava	13.60-14.70 Pasadas de arena	15.20-15.50	15.50-16.20	9.90	A 1 m: 0.3 0 en el resto ¿?	NO	
PS-13B	JAREN	2017	x	0-1.80 1.80 M.O.	1.80-14.00 Indicios de gravilla Arena a muro	14.00-15.30	15.30-16.80	16.80-43.70 30.60 alteración 35.8-43.7 alternancia de alteración y sana fracturada 17.40-35.80 Juntas de 40°	x	A 1 m: 0.1 De 2 a 16 m: 3.2-9.8	NO	



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-14	JAREN	2009	0-0.1	0.1-4.80 4.4 M.O.	4.8-12.80 Limos arcillosos con indicios de grava hasta 6 metros.	12.80-15.70	15.70-18.00 Fracturadas A partir de 16.30 sana sin olor	*9.30	- Cada metro: Relleno: 0 1 10.4 300 (olor contacto rellenos con limos-M.O) Limos: 265 1600 (contacto zona con indicios de grava a zona sin grava) 800 88 40 375 (NF a 9.20 m) 250 14.5 Gravas: 230 670 (olor fuerte y manchas de DNAPL) 100 Margas: 500 (contacto gravas- margas) 0 130	Olor a partir de 2,50 metros hasta el fin del sondeo. Irisaciones en las margas hasta 16.50.	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14B	JAREN	2018	x	0-4.40 A muro abundante presencia de M.O y lixiviados	4.40-12.50 Limos ligeramente arenosos 4.40 M.O.	12.50-15.50 80 cm arenas finas-medias a techo Presencia de gotas de DNAPL a muro.	15.50-16.50 Marga bastante fracturada. DNAPL en agua extraída	x	*9	- Cada metro: Relleno: 1.9 14.8 34 41.5 Limos: 506 (olor en contacto rellenos con limos-M.O) 265 281 50 300 (de 9 a 12 en limos) 823 (de 9 a 12 en limos) 1345 (de 9 a 12 en limos) - Cada 0.50 metros: Arenas: 414 (de 9 a 12 en limos) 24 398 (13 m – techo de gravas) 16 – 7 - 25 Margas: 60 160	Presencia de gotas de DNAPL a muro de las gravas. DNAPL en agua extraída	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14C	JAREN	2019	x	0-4.20 A muro abundante presencia de M.O y lixiviados	4.20-12.30 Limos ligeramente arenosos 4.20 M.O. Alguna gota de DNAPL	12.30-15.40 1 m arenas finas- medias a techo Presencia de gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO	15.40-16.30 Marga alterada y fracturada	x	*9	- Cada metro: Relleno: 0.4 0.9 3 Limos: 178 (contacto relleno- limos) 216 (M.O) 115 82.9 164 217 233 550 -Cada 0.50 metros: Arenas: 1685 (contacto limos- arena) 72.7 160 (contacto de arena- grava) 88.4 - 55 128 (contacto con marga) Margas: 6.9	Presencia de gotas de DNAPL en TODO el tramo de gravas	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-14D	JAREN	2018	x	0-4.80	4.8-12.70 Limos ligeramente arenosos 4.80 M.O	12.70-15.40 0.80 m arenas finas-medias a techo Abundantes gotas de DNAPL en TODO EL TRAMO	15.40-16.90 Marga fracturada Presencia de gotas de DNAPL	*g	- Cada metro: Rellenos: 10.3 7.2 6.4 5 Limos: 64.5 256 (contacto relleno-limos. M.O) 340 (Por encima de N.F) 224 (Por encima de N.F) 25 – 15 – 60 – 70 Arenas: 105 (contacto limos-arena) -Cada 0.50 metros: 330 (contacto arena grava) 420 (presencia de gotas DNAPL) 105 (presencia de gotas DNAPL) 140 (presencia de gotas DNAPL) Margas: 580 (presencia de gotas DNAPL)	Presencia de gotas de DNAPL en gravas y marga	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14E	JAREN	2019	x	0-4.50	4.50-12.70 Limos ligeramente arenosos 4.50-5.00 M.O A partir de 12 m gotas de DNAPL	12.40-16.00 0.80 m arenas finas-medias a techo con irisaciones y fuerte olor 16.00 m testigo impregnado en DNAPL	x	16.00-17.00 Marga fracturada	*9	- Cada metro: Rellenos: 4.7 8.7 13 26 Limos: 60.4 193 (olor fuerte y M.O.) 20.2 57.8 187 (N.F.) 65.5 245 742 (contacto limos-arenas) - Cada 0.50 metros: Arenas: 52.4 147 (irisaciones) 116 (irisaciones) 272 (irisaciones) 55.6 163 75.8 Margas: 943 (muestra con líquido y gotas DNAPL) 768 (muestra con líquido y gotas DNAPL)	A partir de 12 m gotas de DNAPL 16.00 m testigo impregnado en DNAPL	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-14F	JAREN	2019	x	0-5.00	5.00-12.00 Limos ligeramente arenosos 5.00-6.00 M.O A 9 m gotas de DNAPL	12.00-15.50 0.80 m arenas finas-medias a techo Sin evidencias de DNAPL a muro. (*¿Se entiende que hay desde los 9 metros ?)	16.00-17.00 Marga fracturada	*9	-Cada metro: Relleno: 4.6 3.3 23.4 17.1 Limos: 279 (contacto relleno- limo) 317 (gran cantidad M.O.) 1079 (gran cantidad M.O.) 617 (por encima N.F.) 980 (N.F. y gotas DNAPL) 974 (gotas DNAPL) 287 (gotas DNAPL) - Cada 0.50 m: Arenas: 332 (contacto limo-arena) 115 (** presencia DNAPL) 350 (** presencia DNAPL) 109 (** presencia DNAPL) 101 (** presencia DNAPL) 141 (** presencia DNAPL) 137 (** presencia DNAPL) Margas: 120 (** presencia DNAPL) 258 (** presencia DNAPL)	Olor de 4- 15.50 m A 9 m gotas de DNAPL	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. A 9 m gotas de DNAPL ** No hace mención el sondeo de DNAPL en las gravas pero registran olor



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14G	JAREN	2019	x	0-4.60	4.60-12.50 Limos ligeramente arenosos 5.00-6.00 M.O	12.50-15.50 0.50 m arenas finas-medias a techo A partir de 13 m Irisaciones y olor	x	15.50-16.50 Marga fracturada	*9	- Cada metro: Rellenos: 3.7 38.4 64.1 32.4 Limos: 21.5 127 (M.O) 65.8 36.8 29.9 112 (más arenoso) 208 (más arenoso) Arenas: 102 (contacto limo arenoso-arena) -Cada 0.50 m: 27.5 20.5 210 109 (irisaciones) 40.1 – 36.5 Margas 79.3 125 (contacto gravas- margas)	Irisaciones y olor	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14H	JAREN	2019	x	0-4.30	4.30-12.40 Limos ligeramente arenosos 5.00 más oscuros (¿M.O?) 10.50-10.80 tramo con pasada más oscuras algo pedregoso	12.40-15.50 0.50 m arenas finas-medias a techo 12.40-12.70 m Irisaciones y olor	x	15.50-17.00 Marga fracturada	*9	- Cada metro: Rellenos: 45.9 - 47,3 - 39,7 - 49,8 Limos: 57.5 - 59,3 - 38,5 124 (N.F.) 283 (tramo con pasada más oscuras algo pedregoso) 344 (tramo con pasada más oscuras algo pedregoso) 189 (contacto limos-arenas) - Cada 0.50 metros: Arenas: 178 (contacto limos-arenas) 133 (contacto limos-arenas) 53.6 - 51,6 - 51,5 33,8 - 79,8 Margas: 106 (contacto gravas-margas) 330 (contacto gravas-margas)	Irisaciones y olor	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14I	JAREN	2019	x	0-4.80 Desde 4.5 m M.O y lindano en polvo	4.80-12.90 Limos 4.80-6.30 negruzco, M.O DNAPL e irisaciones A partir de 10.20 gotas DNAPL	12.90-15.70 1 m arenas finas- medias a techo. Irisaciones y olor	x	15.70-16.80 Marga fracturada Fuerte olor	*9	- Cada metro: Relleno: 0.9 - 2,3 – 8,5 – 11,1 Limos: 323 (contacto relleno- limos) 443 (irisaciones y gotas DNAPL) 1247 (irisaciones y gotas DNAPL) 1383 (irisaciones y gotas DNAPL) 735 (N.F) 1789 (irisaciones y gotas DNAPL) 1634 (irisaciones y gotas DNAPL) 2578 (contacto limos- arenas) - Cada 0.50 metros: Arenas: 123 (irisaciones) 160 (irisaciones) 70.2 – 37 - 55,8 Margas: 101 (irisaciones) 438 (contacto gravas- margas, irisaciones-olor fuerte)	HCH en polvo en el relleno Irisaciones, DNAPL y olor desde nivel de limos	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14J	JAREN	2019	x	0-4.70 Manchas DNAPL	4.70-12.60 Limos 4.70-5.30 negruzco, M.O. Irisaciones	12.60-15.90 1 m arenas finas- medias a techo. Irisaciones y olor 15.40 gotas DNAPL	x	15.90-16.60 Marga no muy fracturada	*9	- Cada metro: Relleno: 6.4 - 7,5 – 21,1 – 48,6 Limos: 174 (contacto relleno- limos) 182 (irisaciones) 128 (irisaciones) 136 (irisaciones) 162 (N.F. Irisaciones) 228 (irisaciones) 258 (irisaciones) 1359 (contacto limos- arenas limosas) -Cada 0.50 metros: Arenas: 468 (contacto limos- arenas limosas- Irisaciones) 147 (Irisaciones) 185 (Irisaciones) 214 (Irisaciones) 32.5 - 38,6 – 70,1 Margas: 94.1 -59,4	Irisaciones, olor y gotas de DNAPL	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14K	JAREN	2019	x	0-4.50 A 4 m granos de lindano en polvo	4.50-12.60 Limos arenosos negruzcos	12.60-15.70 1.20 m arenas finas-medias a techo.	x	15.90-16.50 Marga no muy fracturada	*9	- Cada metro: Relleno: 18.4 -10,8 – 26,1 -31,4 Limos: 36.5 38.6 49.7 46 53.4 62.5 58.9 219 (contacto limos-arenas) - Cada 0.50 metros: Arenas: 115 (contacto limos-arenas) 116 (contacto limos-arenas) 78.5 163 (contacto arenas-gravas) 20.2 – 13,9 -12,6 Margas: 9,8	HCH en polvo en el relleno	Zona confluencia y salida de cárcavas *Nivel de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-14L	JAREN	2019	x	0-5.70 Lindano en polvo	5.70-13.20 Limos con pasadas negruzcas 5.70-6.00 fango negruzco, M.O. Irisaciones Gotas DNAPL a muro	13.20-15.90 1 m arenas finas- medias a techo. Irisaciones y olor 14.90 gotas DNAPL	15.90-16.70 Marga muy fracturada	x	*9	- Cada metro: Rellenos: 5.8 - 12,7 – 9,9 64,8 – 82,7 Limos: 588 (contacto relleno- limos con irisaciones) 95.6 106 (irisaciones) 378 (irisaciones) 683 (gotas DNAPL) 1547 (gotas DNAPL) 552 (gotas DNAPL) 115 (contacto limos- arenas. Gotas DNAPL) - Cada 0.50 metros: Arenas: 30.7 13.7 24.6 46.5 49.8 41 Margas: 34 - 3,4		Zona confluencia y salida de cárcavas *Cota de agua a cota de capa de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. Valores de COV en las gravas muy bajos dada la presencia de gotas de DNAPL



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-15	JAREN	2009	x	0-4.60 0-0.20 zahorra 0.20-0.80 T.V.	4.60-14.80 Limo arcilloso con pasadas arenosas e indicios de gravilla 4.60-4.80 M.O.	14.80-14.90 Arena fina con indicio de gravilla	14.90-17.80 Ligero olor hasta 16.90 Olor moderado de 16.80 a 20.00 DNAPL	17.80-20.00	*9.20	- Cada metro: Relleno: 0-3 Limos: 0.5-6.8 Margas: 0-50	Ligero olor 14.90-16.90 Olor moderado de 16.80 a 20.00 DNAPL (16.80-20 ¿?) *Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?) ≅ 70°
PS-16	JAREN	2009	0-0.10	0.10-4.50	4.50-10.00 Limo arcilloso 4.50-5.10 M.O.	10.00-14.30 arenas finas- medias a techo	14.30-18.40 Presencia DNAPL	18.40-21.00	*5.6	- Cada metro: Relleno: 0-0.1 Limos: 3-13 Gravas: 0 (2.3 en contacto con marga) Margas: 0-1	Olor en todo el sondeo DNAPL en margas alteradas *Cota de agua en nivel de gravas (a 10 m). Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?) ≅ 70°
PS-16B	JAREN	2013	x	0-3.80	3.80-7.20 Limo arcilloso con pasadas arenosas 4.50-5.10 M.O.	7.20-12.50 Grava limoarenosa	12.50-19.00 12-12.5 limo gris	19.00-28.80	7.2	- Cada metro: Relleno: 0 Limos: 0 (1.4 en contacto relleno-limo) Gravas: 0 (2.3 en contacto con marga) Margas: 0.2-13	Ligero olor en niveles de arena y grava
PS-16C	JAREN	2013	x	0-3.20	3.20-7.00 Limo arcillosos	7.00-11.80 Grava limoarenosa	11.80-12.00 Fin de sondeo	x	*6.10	0	Olor en niveles de arena y grava *Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-16D	JAREN	2014	x	0-3.20	3.20-9.00 Limo arcillosos	9.00-12.10 Grava limoarenosa	12.10-12.30 Fin de sondeo	x	*5	- Cada metro: Relleno: 1.6-2.4 Limos: 3.8-6.1 (1.4 en contacto relleno-limo) Gravas: 1.5-4.7 (4.7 en contacto con marga)	Olor en niveles de arena y grava	*Cota de agua en nivel de gravas (a 7,5 m). Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-16E	JAREN	2014	x	0-4.60	4.60-9.00 Limo arcillosos	9.00-13.00 1 m arenas finas-medias a techo Grava limoarenosa	13.00-13.30 Fin de sondeo	x	*5	- Cada metro: Relleno: 1.6-2.4 Limos: 3.8-6.1 (1.4 en contacto relleno-limo) Gravas: 1.5-4.7 (4.7 en contacto con marga)	Olor en niveles de arena y grava	*Cota de agua en nivel de gravas (a 7 m). Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-16F	JAREN	2014	x	0-4.20	4.20-8.90 Limo arcillosos M.O. a techo	8.90-11.80 1 m arenas finas-medias a techo Grava limoarenosa	11.80-12.00 Fin de sondeo	x	*5	- Cada metro: Relleno: 0-0.2 Limos: 6-1.5 (0 contacto limo-arena ¿?) Gravas: 0,2-4.2 contacto limo-arena ¿?)	Olor en niveles de arena y grava	*Cota de agua en nivel de gravas (a 7 m). Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-16G	JAREN	2015	0-0.30	0.30-3.70	3.70-9.50 Limo arcillosos	9.50-12.10 1 m arenas finas-medias a techo Olor en matriz arcillo arenosa y en zonas con presencia de arcilla	12.10-12.50 Fin de sondeo	x	6.40	0	Olor en niveles de arena y grava	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-17	JAREN	2009	0-0.10	0.10-4.50	4.50-12.40 Limo arcilloso con pasadas de arena e indicios de gravilla 4.50-5.20 M.O.	12.40-15.70 0.30 m arenas finas-medias a techo	15.70-16.50	16.50-18.00	*8.50	- Cada metro: Relleno: 0-0.8 Limos: 0 (5.4 en contacto relleno-limo). Un valor de 1 Gravas: 0 (2.3 en contacto con marga). Un valor de 1 Margas: 1-1.52	NO	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-3 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?)
PS-17B	JAREN	2014	x	0.10-4.50	4.50-12.40 Limo arcilloso con indicios de gravilla M.O. a techo	12.40-15.70 Arenas finas- medias con indicios de gravilla	x	15.20-39.50 juntas 40-45°	*8	- Cada metro: Relleno: 1.6-3.2 Limos: 0.8-6.7, en contacto relleno-limo Gravas: 0.5-6, en contacto arena-marga Margas: 0.4 y 1.6	Olor en niveles de arena y grava	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-18	JAREN	2009	0-0.60	0.60-4.20	4.20-10.70 Limo arcilloso con indicios de gravilla	10.70-14.60 1 arenas finas- medias con indicios de gravilla	x	14.60-16.60	*9.80	0	NO	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 1- ¿3? familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30° (conjugadas¿?)



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-19	JAREN	2010	x	0-4.10	4.10-13.70 Limos con pasadas arenosos e indicios de gravilla 4.10-4.60 M.O. Olor	13.70-15.50 Arenas y gravas en matriz limoarcillosa Carbonatos a 13.90 m	15.50-19.40	19.40-31.00	*9.36	- Cada metro: Relleno: 0 16.3 36.7 13 Limos: 80.1 (M.O) 10.3 12.2 22.9 86 99 18 0 0 Gravas: 0 y 5.7 Margas: 0-3.5. 1 valor 16.8 a 23 m	Ligero olor hasta 19 metros	Zona confluencia y salida de cárcavas *Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 1- ¿3? familias de juntas: Subhorizontales (So) ≅ 60° (conjugadas¿?)



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-19B	JAREN	2014	x	0-4.10	4.10-13.90 Limos con pasadas arenosos e indicios de gravilla 4.10-4.60 M.O.	13.90-15.30 0.40 m arenas medias a techo	15.30-15.90 Fin de sondeo	x	*9.20	- Cada metro: Relleno: 0.2 3.8 0.1 15.2, en contacto con limos Limos: 27.5 36 60 23.9 21.2 12.3 6.7 4.9 7.5 Gravas: 0.6 y 0.7	Olor hasta 9 metros	Zona confluencia y salida de cárcavas
PS-19C	JAREN	2014	x	0-4.30	4.30-11.00 Fin de sondeo Limos con pasadas arenosos e indicios de gravilla 4.30-4.90 M.O.	x	x	x	x	Ligero olor en todo el sondeo	Zona confluencia y salida de cárcavas	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-20	JAREN	2010	x	0-4.50 Indicios de contaminación	4.50-10.60 Limos con pasadas arenosos e indicios de gravilla 4.50-4.80 M.O.	10.60-14.80 1 m arenas medias a techo Zonas areno- arcillosas con olor	14.80-15.80 Ligero olor a techo	15.80-19.20	*8.5	- Cada metro: SÓLO 1 VALOR DISTINTO DE 0 EN CADA NIVEL NATURAL: Limos: 0.5 Grava: 6.1 Marga: 2.1	Ligero olor en nivel de arenas y gravas	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?) ≅ 70°



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-21	JAREN	2010	x	0-4.00	4.00-10.50 4.50-5.00 M.O. 5.00-6.70 Relleno, M.O., Limos 6.70-10.50 Limos con pasadas arenosos e indicios de gravilla	10.50-15.00 1 m arenas finas- medias a techo Grava areno- arcillosas Zonas areno- arcillosas con olor	15.00-18.60 Ligero olor a techo	18.60-30.80 Hasta 29 m olor en zonas de fracturas	*8.5	- Cada metro: Relleno: 0 Relleno-limos: 22 (M.O.) 28.3 Limos: 70.2 91.4 27.8 22 Gravas: 62 (arenas) 4 14.3 4 3.1 Margas: 1.3 5.9 36.8 (contacto marga sana)/18.7 4/20.3	Olor a partir de 2.60 m hasta 29.00 metros	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas: subhorizontales (So) $\cong 30^\circ-45^\circ$ (conjugadas¿?) $\cong 60^\circ$



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-21B	JAREN	2015	x	0-3.40	3.40-9.30 Limos con pasadas arenosas e indicios de gravilla A techo, de 5.40-6.00 y de 7.80-8.20 M.O.	9.30-12.40 1 m arenas medias a techo Zonas arenos-arcillosas con olor	12.40-13.20 Fin del sondeo Ligero olor a techo	x	*7	- Cada metro: Relleno: 0 Limos: 0 1 valor de 5, contacto con gravas Grava: 0 1 valor de 3.9, contacto con limos	Ligero olor en nivel de arenas y gravas	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-24	JAREN	2010	x	0-4.60	4.60-12.70 Limos arenosos	12.70-15.10	x	15.10-35.70 Alternancia de zonas sanas fracturadas 28.20-30.10 Indicios organolépticos ¿?	*9.30	x	28.20-30.10 Indicios organolépticos ¿?	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-25	JAREN	2011	x	0-3.90 3.10-3.60 M.O 3.60-3.90 restos de ladrillos	3.90-11.00 Limos arenosos	11.00-14.50 1 m arena media-fina	14.50-16.10	16.10-40.60 19.70-20.50 zona de cizalladura Gotas de DNAPL a 37.5 m	*9.20	< 12	Gotas de DNAPL a 37.5 m	*Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-3 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 45° (conjugadas ¿?)



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-25B	JAREN	2011	x	0-4.00	4.00-11.20 Limos arenosos	11.20-13.00 Fin de sondeo Arenas con indicios de gravas	x	x	*9.20	x	Gotas de DNAPL a 37.5 m	*Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-3 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 45° (conjugadas ¿?)
PS-25C	JAREN	2017	x	0-2.50 Ligero olor en zonas arcillosas	2.50-12.30 Limos arenosos, indicios de gravilla	12.30-14.80 ≅ 40 cm arena a techo	14.80-24.00 Alternancias de Margas alterada y marga fracturada	x	9.20	0	x	
PS-25D	JAREN	2017	x	0-2.40 Ligero olor en zonas arcillosas	2.40-12.40 Limos arenosos, indicios de gravilla	12.40-15.00 ≅ 40 cm arena a techo	15.00-33.00 Alternancias de Margas alterada y marga fracturada	33.00-45.30	x	≤3	NO	
PS-26	JAREN	2011	x	0-1.20 Incluye tierras de aporte para plataforma de sondeo	1.20-4.90 4.00-4.20 pasada de gravilla	5.00-9.10 ≅ 40 cm arena a techo Grava en matriz arenolimososa	9.10-9.60 Fin de sondeo Alternancias de Margas alterada y marga fracturada	x	*2.5	x	NO	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P.



CEDEX

SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
PS-26B	JAREN	2011	x	0-1.00 Incluye tierras de aporte para plataforma de sondeo	1.20-4.90 1.00-1.90 M.O.	4.90-9.10 ≅ 30 cm arena a techo Grava en matriz arenolimosa	9.10-11.90 Alternancias de Margas alterada y marga fracturada	11.90-43.40	*2.5	0-0.1	NO	*Por otros sondeos en el área: Cota de agua en nivel de gravas. Altura de agua en sondeo es N.P. En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?) ≅ 70°
PS-26C	JAREN	2013	x	0-0.5	0.5-5.00	5.00-9.10 Grava en matriz arenolimosa	9.10-10.90	10.90-23.30 10.90-12.60 fracturas 40°	*2	x	NO	N.F. a cota de nivel de gravas a 5 metros Altura de agua en sondeo es N.P.
PS-27	JAREN	2013	x	0-3.60	3.60-13.10 Plástico a 4.20 (¿arrastrado del tramo superior?)	13.10-14.40 Arenas fina-media con M.O.	14.00-15.80	15.80-25.00 fracturas 40°- 45°	13	x	NO	
PS-28	JAREN	2013	x	0-5.30 1.2-1.4 M.O. 3.10-4.10 humedad	5.30-7.60 M.O. a techo 7 m pátina anaranjada	x	7.60-12.00 Hasta 9 m muy alterada	12.00-19.70	0	0.5, 11.2 y 14 en margas	NO	ZONA SURGENTE
PS-28B	JAREN	2013	x	0-5.20 M.O. a muro	5.20-7.60 Limo algo arenoso con indicios de grava	x	7.60-12.70 Fin de sondeo 10.80-12.20 más sana	x	0	x	Olor e Irisaciones en margas	ZONA SURGENTE
PS-29	JAREN	2013	x	0-4.80 1.20-1.80 DNAPL	4.80-6.90 Limo algo arenoso	x	6.90-19.00 DNAPL a muro (19 m)		2.5	≤ 14.4	1.20-1.80 DNAPL	Valores de COV no encajan con la presencia de DNAPL



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
PS-29B	JAREN	2013	x	0-4.80 1.20-1.80 DNAPL	4.80-6.20 Limo algo arenoso	x	6.90-11.80		2.5	x	1.20-1.80 DNAPL	
PS-29C	JAREN	2013	x	0-4.80 1.20-1.70 DNAPL	4.80-5.00 Fin de sondeo Limo algo arenoso	x	x	x	2.5	0 (¿?)	1.20-1.70 DNAPL	Valores de COV no encajan con la presencia de DNAPL



CEDEX

Tabla A6.2. Resumen de datos extraídos de los sondeos realizados en el vertedero de Sardas: Zona de Pantalla

SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
P-22	JAREN	2010	x	0-17.10 16.80-17.10 negruzco y con olor ¿M.O?	17.10-17.90 Limo arcilloso (¿Relleno?)	x	x	17.90-24.20	8	- Cada metro: Relleno: 0 hasta 9.50 Resto del sondeo 0.4-3.3	No olor	En las cajas de sondeo se observan 2-4 familias de juntas ¿?: subhorizontales (So) ≅ 30°-45° (conjugadas¿?) ≅ 70° (1 fractura)
P23	JAREN	2010	x	0-10.50 ≅ 10 m olor e impregnación DNAPL (pero no olor ni COV ¿?) 16.80-17.10 negruzco y con olor ¿M.O?	10.50-12.00 Limo arcilloso con moderado olor (¿Relleno?)	x	x	12.00-18.00 Primeros 20-30 cm olor	3.30	- Cada metro: Relleno: 0 - 1.5 Limos: 14.8 88.3 Margas: 83.7 10.5 6.5 1.4	≅ 10 m DNAPL Olor en limos y techo de margas	Zona confluencia y salida de cárcavas En las cajas de sondeo se observan 2 familias de juntas ¿?: subhorizontales (So) ≅ 45-60° (conjugadas¿?)
P-23B	JAREN	2017	x	0-9.20 R. Carretera 7.20-9.20 R. Vertedero	9.20-10.70 (¿Relleno?)	x	10.70-11.50 Fin del sondeo	x	x	x	Olor en limos y techo de margas	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-36	IDOM	2010	x	0-0.70 Cobertera PEAD 0.70-17.30 Relleno	x	x	17.30-19.60 Fin del sondeo	x	2.10	x	x	
S-36B	JAREN	2017	x	0-0.60 Cobertera PEAD 0.60-17.10 15.00-15.20 HCH polvo	17.10-19.10 Limo arcilloso con indicios de grava	x	19.10-20.20 Fin del sondeo	x	x	x	15.00-15.20 HCH polvo Ligero olor desde 8 m	
S-37	IDOM	2010	x	0-0.50 Cobertera PEAD 0.50-16.80 Relleno	16.80-17.00 Limo arcilloso (¿Relleno?)	x	17.00-25.00 Fin del sondeo	x	1.70	x	X	Zona confluencia y salida de cárcavas



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
S-37B	JAREN	2015	x	0-9.00 Relleno carretera 9.00-16.50 Relleno vertedero 15.50-15.80 agua color negro 15.8-16.10 tramo arcilloso con gotas DNAPL	16.50-18.10 Arcillas margosas con olor	x	18.20-20.00 Fin del sondeo Manchas y gotas de DNAPL en fracturas y fluido extraído	x	10	- Cada metro: Relleno carretera: 0 - 0.6 Relleno vertedero: 0 12.8 2.6 2.9 15.3 2.1 300 (DNAPL) 72 Arcillas margosas: 608 (DNAPL) Margas: 776 (DNAPL)	Ligero olor desde 9 m Agua extraída con gotas DNAPL Tramo arcilloso y fracturas en margas DNAPL	Zona confluencia y salida de cárcavas



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-38	IDOM	2010	x	0-1.10 Cobertera PEAD 1.10-7.50 Relleno	x	x	7.50-11.00	11.00-30.60 2 familias de juntas: ≅ 30-50° ≅ 60-85° Lisas y onduladas Principalmente sin relleno Se distinguen estría de movimiento a 12.65	3.45	x	x	
S-38B	IDOM	2010	x	0-1.10 Cobertera PEAD 1.10-8.60 Relleno	x	x	8.60-11.00	11.00-37.50 2 familias de juntas: ≅ 30-50° ≅ 60-85° Lisas y onduladas Principalmente sin relleno Posibles tramos cizallados 12.40-12.80 16.40-16.80	4.10	x	x	



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
S-38C	JAREN	2011	x	0-1.20 Cobertera PEAD 1.20-9.00 Relleno	x	x	9.00-9.40 Fin de sondeo	x	5.30	- Cada metro: Relleno carretera: 0 Relleno vertedero: 0 1.3/0.7 0 0.3 26 - 18.3 - 58	Olor a partir de 4 metros	
S-40	JAREN	2013	x	0-1.30	1.30-3.30	x	3.30-17.00	17.00-28.00	x	- Cada metro: Relleno: 0 Limos: 0.2 Margas: 0-3.8	Ligero olor	



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-40B	JAREN	2013	x	0-1.4	1.40-4.20	x	2.40-16.80 Fin de sondeo Alternancia de tramos alterados con tramos sanos Fracturación principalmente a: ≅ 40-45°	x	x	x	Ligero olor en relleno y limo
S-42	JAREN	2015	x	0-10.60 0-8.30 Relleno carretera	x	x	10.60-14.40 Fin de sondeo	x	10.15	0	No olor
S-42B	JAREN	2015	x	0-0.40 Cobertera PEAD 0.40-3.60 Arcilla,hormigón 3.60-11.70 Relleno 8.40-9.60 lodos color violáceo (origen urbano)	x	x	11.70-14.40 Fin de sondeo	x	10.15	x	No olor



Tabla A6.3. Resumen de datos extraídos de los sondeos realizados en el vertedero de Sardas

SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-30	IDOM	2010	x	0-0.85 Cobertera Lámina PEAD 0.85-1.80 marga 1.80-18.25 Relleno de Vertedero 12.50-13.20 Lodos rojos 14.10-15.80 lodos negros y aceitosos	x	x	18.50-24.10	24.10-40.30 3-4 familias de juntas: Subhorizontal (So)=10-20° ≅ 30-45° (conjugadas ¿?) ≅ 75-80° Lisas y onduladas Principalmente sin relleno	19.10	x	12.50-13.20 Lodos rojos 14.10-15.80 lodos negros y aceitosos	
S-31	IDOM	2010	x	0-0.10 Asfalto 0.10-0.70 gravilla Lámina PEAD 0.70-1.50 gravas y limos 1.50-14.80 Relleno de Vertedero HCH en polvo : 1.50-4.50 5.80-6.30 7.30-14.80	x	x	14.80-16 Fin del sondeo	x	15.30	x	HCH en polvo: 1.50-4.50 5.80-6.30 7.30-14.80	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-32	IDOM	2010	x	0-0.75 Cobertera Lámina PEAD 0.85-1.80 marga 2.10-9.30 Relleno de Vertedero Algo de HCH Manchas negras (¿DNAPL?) y lodos rojos	x	x	9.30-11.30	11.30-40.20 3-4 familias de juntas: ≅ 20-25° ≅ 30-50° ≅ 70-85° Lisas y onduladas Principalmente sin relleno Zonas de cizalla (machacadas): 25.50-26.30 32-32.30 36.50-36.90	10.10	x	Algo de HCH Manchas negras (¿DNAPL?) y lodos rojos	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-32B	IDOM	2010	x	x	0-3.60 Depósitos de glacis Limos arcillosos con gravas de margas	x	3.60-5.40	5.40-10.80 3-4 familias de juntas: ≅ 20-25° ≅ 30-50° ≅ 70-85° Lisas y onduladas Principalmente relleno de óxido y calcita zonas de cizalla (machacadas): 14.70 15.40 20.00 25.80 Micropliegue 28.90	2.71	NO	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-32C	IDOM	2010	x	0-0.10 Gravas para acceso sondeo	0.10-4.40 Depósitos de glacis Limos arcillosos con gravas de margas	x	4.40-6.50	6.50-42.00 Muy fracturada 35.40-42.00 Juntas a 40-55° 41.40: junta 80° Lisas y onduladas Sin relleno	27.3	x	x	
S-33	IDOM	2010	x	0-0.60 Cobertera Lámina PEAD 0.60-3.60 Relleno Vertedero	x	x	3.60-4.20	4.20-10.10 4 familias de juntas: ≅ 20° ≅ 30-40° ≅ 70-80° (conjugadas) Lisas y onduladas Principalmente relleno de óxido	4.47	x	x	
S-33B	IDOM	2010	x	0-0.60 Cobertera Lámina PEAD 0.60-3.30 Relleno Vertedero	x	x	3.30-4.50 Fin de sondeo	x	4.3	x	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-34	IDOM	2010	x	0-1.00 Cobertera Lámina PEAD 1.00-35.70 Relleno Vertedero	x	x	35.70-38.40 Fin de sondeo	x	26.9	x	HCH 3.30-3.60 25.00-25.70	
S-35	IDOM	2010	x	0-0.90 Cobertera Lámina PEAD	0.90-1.80 Depósitos de glacis Limos arcillosos con gravas de margas	x	1.80-4.10 3.30-4.10 Juntas \cong 40°	4.10-14.40 3 familias de juntas: \cong 30-40° \cong 70° Lisas y onduladas Principalmente relleno de óxido	10.1	x	x	
S-35B	IDOM	2010	x	0-1.30	1.3.0-4.80 Depósitos de glacis Limos arcillosos con M.O.	x	4.80-6.00	6.00-13.50 3 familias de juntas: \cong 30-40° \cong 70° Lisas y onduladas Sin relleno 10.00-13.50 Sin fracturación	9.41	x	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-35C	IDOM	2010	x	0-0.60	0.60-1.80 Depósitos de glacis Limos arcillosos con gravas	x	1.80-12.00 Zonas cizallas 7.80-8.80 9.60-12.00	12.00-14.50	3.93	x	x	
S-35D	IDOM	2010	x	0-0.25 Relleno acceso sondeo	0.25-2.30 Depósitos de glacis Limos arcillosos con M.O.	x	2.30-3.90 Fin de sondeo	x	3.97	x	x	
S-35E	JAREN	2013	0- 0.20	x	0.20-3.30 Depósitos de glacis Limos arcillosos con M.O.	x	3.30-4.80	4.8-17.50 15.20 zona disgregada (zona cizalla¿?)	2.2	x	No olor	Probetas ensayos margas
S-35F.1	JAREN	2013	x	0-2.60 Limos arenosos a muro poliestileno 0.60-3.30 Fin de sondeo Cemento- bentonita de la pantalla perimetral	x	x	x	x	1.7	x	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-35F.2	JAREN	2013	x	0-2.60 Limos arenosos a muro poliestileno 0.60-3.30 Cemento- bentonita de la pantalla perimetral	x	x	x	6.90-11.80 Ligeramente alterada a techo	1.7	x	x	
S-39	IDOM	2010	x	0-0.60 Cobertera Lámina PEAD 0.60-31.10 Relleno vertedero 0.60-5.00 algo HCH 10.20-16.00 sacos de HCH 16.80-31.10 DNAPL 18.70-22.80	x	x	31.10-33.20 Fin de sondeo	x	24.5	x	ELEVADAS cantidades de HCH en polvo, cristalizado, en fibras.... y DNAPL	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39B	JAREN	2013	x	0-0.60 Cobertera Lámina PEAD 0.60-37.50 Relleno vertedero 16.8-21.9 HCH 31.6-32.1 Lodos rojizos	37.50-38.80 Limo grisáceo Ligero olor (Glacis o marga alterada ¿?)	x	Gotas DNAPL en el agua extraída	x	27	- Cada metro: Relleno: 0-14 metros: 0-2.2 (1 valor 7.3) A partir de 14 metros: 82.1 121 (HCH polvo- Olor moderado a fuerte) 129 (HCH polvo- Olor moderado a fuerte) 16.8-21.9 HCH 31.6-32.1 Lodos rojizos 37.50-41.00 Gotas DNAPL en el agua extraída Olor desde 16 metros 30.4 – 60,6 – 150 – 25,8 – 1,8 416 (N.F, olor) 740 (Olor moderado) 879 (Olor moderado) 932 (Lodos rojizos- Olor mod.) 544 (Olor moderado) 15 - 6,1 – 0,7 4,4 – 3,5 Margas (limo): 25.3 Marga: 232 (Gotas DNAPL)	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39C	JAREN	2013	x	0-1.60 Cobertera Lámina PEAD 1.60-26.10 Relleno vertedero 9.5-10.00 y 14.5-15.5 Lodos anaranjados 16.8-22.5 HCH 26.00 Irisaciones e intenso olor	26.10-27.50 Limo grisáceo Ligero olor (Glacis o marga alterada ¿?)	x	27.50-28.30	28.30-30.40 Juntas a 45°	24	- Cada metro: Relleno: 0-18 metros: 0-20.3 A partir de 18 metros: 6373 (HCH. Fuerte olor) 1213 (HCH. Fuerte olor) 2500 (HCH. Fuerte olor) 1585 (HCH. Fuerte olor) 816 1774 (4435 (N.F) 1500 (Irisaciones) 2235 (Irisaciones) Limos: 0 Margas 0.5	9.5-10.00 y 14.5-15.5 Lodos anaranjados 16.8-22.5 HCH 26.00 Irisaciones e intenso olor Olor muy fuerte desde 15 metros hasta 26 que pasa a leve	Sondeo con elevadas cantidades de lindano Valores de COV bajos en zonas de lodos anaranjados



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39D	JAREN	2013	x	0-1.70 Cobertera Lámina PEAD 1.70-29.70 Relleno vertedero 12.20 y 16.40-27.70 Lodos anaranjados 27.70-29.70 Gotas DNAPL	29.70-28.00 Arcillas limosas grisáceo Ligerio olor (Glacis o marga alterada ¿?)	x	32.00-33.00 Fin de sondeo	x	16.4 - Cada metro: Relleno: 0-19 metros: 0-20 A partir de 19 metros: 160 (N.F) 1671 (Lodos anaranjados) 770 (Lodos anaranjados) 1284 (Lodos anaranjados) 900 (Lodos anaranjados) 731 (Lodos anaranjados) 741 (Lodos anaranjados) 406 (Lodos anaranjados) 1200 (DNAPL) 1500 (DNAPL) 251 (contacto relleno-limos) Limos: 19.2 - 250 - Margas: 315 (contacto limos- marga)	12.20 y 16.40-27.70 Lodos anaranjados 27.70-29.70 Gotas DNAPL Olor muy fuerte desde 15 metros hasta 28 que pasa a leve/mod.	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA	FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES	
S-39E	JAREN	2013	x	0-1.60 Cobertera Lámina PEAD 1.60-29.00 Relleno vertedero 14.7-29.00 Alternancia tramos HCH, arcilla y M.O.	29.70-28.00 Arcillas limosas grisáceo Ligero olor (Glacis o marga alterada ¿?)	x	32.00-34.50 Fin de sondeo	x	23	- Cada metro: Relleno: 0-15 metros: \cong 0 A partir de 15 metros, alternancia tramos HCH, arcilla y M.O: 27.3 125 15.4 10.6 13.9 370 286 1500 (N.F) 1530 223 42.6 57.5 183 1699 2033 (contacto relleno-limos) Limos: 30 – 65,5 Margas: 2.1 - 1.8 - 6.3	Alternancia tramos HCH, arcilla y M.O. Olor muy fuerte entre 15 - 30 m	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39F	JAREN	2014	x	0-0.80 Cobertera Lámina PEAD 0.80-31.60 Relleno vertedero 11.10-28.70 Alternancia tramos HCH, residuos urbanos oscuros 20.40 residuos industria química 29.70-31.60 Arcillas rojizas Gotas DNAPL Olor muy fuerte	31.60-38.00 Arcillas limosas grisáceo Liger o olor (Glacis o marga alterada, relleno ¿?)	x	x	38.00-40.30 Juntas a 45° Indicios de afección	25	- Cada metro: Relleno: 0-13 metros: \cong 0-7.6 A partir de 13 metros, alternancia tramos HCH y residuos urbanos oscuros: 103 - 59 - 2100 - 9999 1400 - 1600 - 264 361 - 190 - 31 -1186 (N.F) - 630 - 12 2068 (olor fuerte) 400 (olor fuerte) 3015 (Gotas DNAPL. Olor fuerte) 688 (Gotas DNAPL. Olor fuerte) 531 (Gotas DNAPL. Olor fuerte) 273 (Gotas DNAPL. Olor fuerte) Limos: 468 (contacto relleno-limos) 235 - 189 - 4167 1072 - 100 - 1041 (contacto limos- margas)	11.10-28.70 tramos HCH 20.40 residuos industria química 29.70-31.60 Arcillas rojizas Gotas DNAPL Olor desde 10 metros predominan- temente fuerte. A partir de 32 metros se reduce	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39G	JAREN	2015	x	0-0.80 Cobertera Lámina PEAD 0.80-31.60 Relleno vertedero 12.70-26.40 Alternancia tramos HCH 26.40-31.80 Arcillas, lodos, restos antrópicos Gotas DNAPL Olor muy fuerte	x	x	36.50-38.10 Ligero olor	38.10-39.50	25	x	12.70-26.40 Alternancia tramos HCH 26.40-31.80 Gotas DNAPL Olor desde 13 metros	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-39H	JAREN	2015	0- 0.70	0.70-2.20 Zahorra y geodrenes 2.20-27.80 Relleno vertedero 18.00-27.80 Alternancia tramos HCH 21.20 Gotas DNAPL Olor muy fuerte	27.80-33.80 Ligero olor	x	x	33.80-35.20	19	x	18.00-27.80 Alternancia tramos HCH 21.20 Gotas DNAPL Olor desde 15 metros	Sondeo con elevadas cantidades de lindano
S-39I	JAREN	2015	x	0-1.70 Cobertera Lámina PEAD 1.70-31.60 Relleno vertedero 15.00-30.40 Alternancia tramos HCH 21.20-30.40 Pátinas rojizas Gotas DNAPL Olor muy fuerte	30.40-34.90 Ligero olor	x	30.40-34.90	34.90-37.40	21.7	x	15.00-30.40 Alternancia tramos HCH 21.20-30.40 Pátinas rojizas Gotas DNAPL Olor desde 8 metros	Sondeo con elevadas cantidades de lindano



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-41	IDOM	2010	x	0-0.70 Cobertera Lámina PEAD 0.70-5.00 Relleno vertedero		x	5.00-8.00	8.00-15.20 2 familias de juntas ≅ 30-40° Lisas ≅ 70-80° Ondulad Poca apertura y sin relleno	4.33	x	x	En la caja de sondeos pareciera que hay otra familia de juntas subhorizontales
S-41B	IDOM	2010	x	0-1.10	1.10-6.10 Depósitos de glacis Limos arcillosos con algo de gravilla. M.O.	x	6.10-7.00	7.00-14.10 3 familias de juntas ≅ Subhorizontales ≅ 30-40° Lisas ≅ 60° Ondulada Poca apertura y sin relleno	4.67	x	X	
S-41C	IDOM	2010	x	x	0-6.20 Depósitos de glacis Limos arcillosos con algo de gravilla. M.O.	x	6.20-6.60	6.60-15.00 3 familias de juntas ≅ Subhorizontales ≅ 30-40° Lisas ≅ 60° Ondulada Poca apertura y sin relleno	2.91	x	x	



SONDEO/ EMPRESA		FECHA	T.V.	RELLENO	LIMO Y ARCILLAS	GRAVAS ARENOSAS	MARGA ALTERADA	MARGAS	N.F.	COV (ppm)	HCH DNAPL	OBSERVACIONES
S-41D	JAREN	2011	x	0-0.40 Grava y T.V.	0.40-6.60 Depósitos de glacis Limos arcillosos con algo de gravilla. M.O.	x	x	6.60-9.30	4.60	- Cada metro Valores en todo el sondeo: 0-2 Sólo 1 valor 7.8	NO	
S43	JAREN	2016	x	0-1.00 Cobertera Lámina PEAD 1.00-36.70 Relleno vertedero 26.00 M.O.	x	x	x	36.70-39.20 Alternancia de tramos fracturados y alterados	20	x	NO	
S43B	JAREN	2016	x	0-1.00 Cobertera Lámina PEAD 1.00-36.70 Relleno vertedero 16.20-17.20 HCH 21.60-23.10 Lodos rojizos	x	x	28.10-31.10 Fin de sondeo	x	21	x	16.20-17.10 HCH 21.60-23.10 Lodos rojizos Olor leve- moderado	



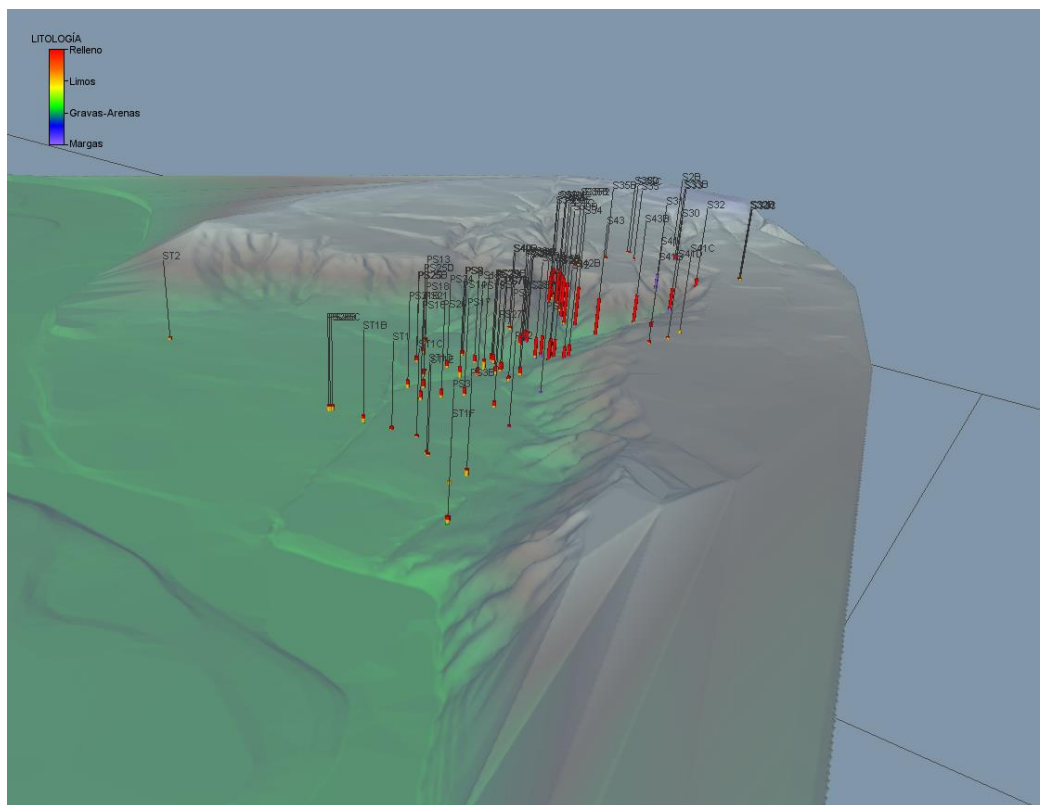
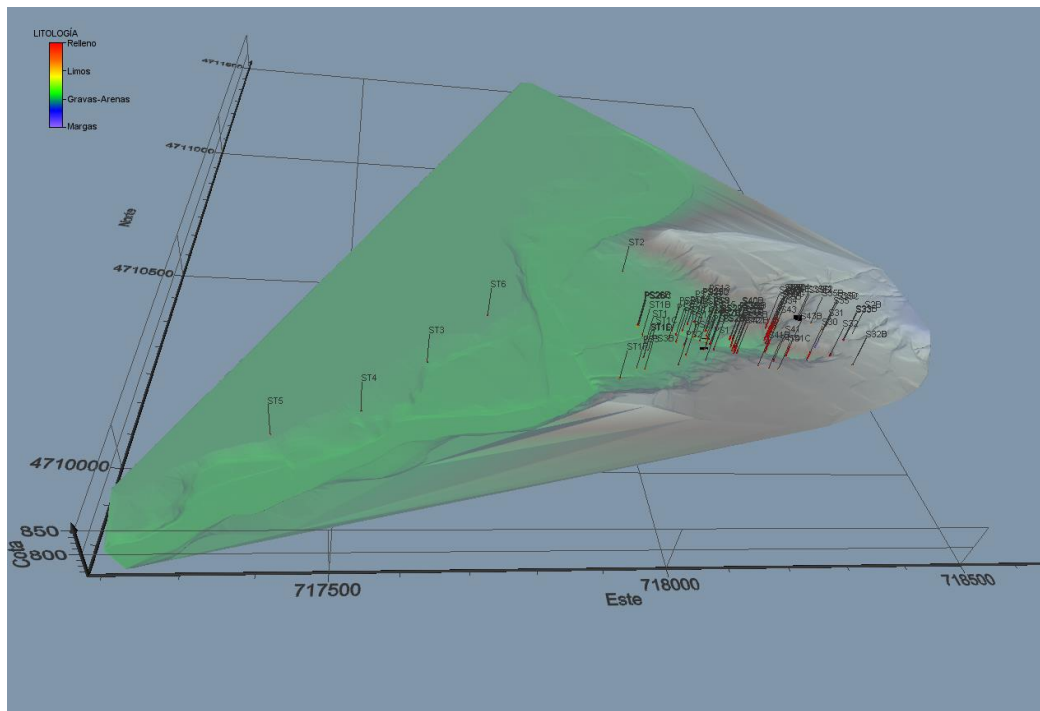
ANEJO VII REPRESENTACIÓN DE SONDEOS CON VOXLER



CEDEX

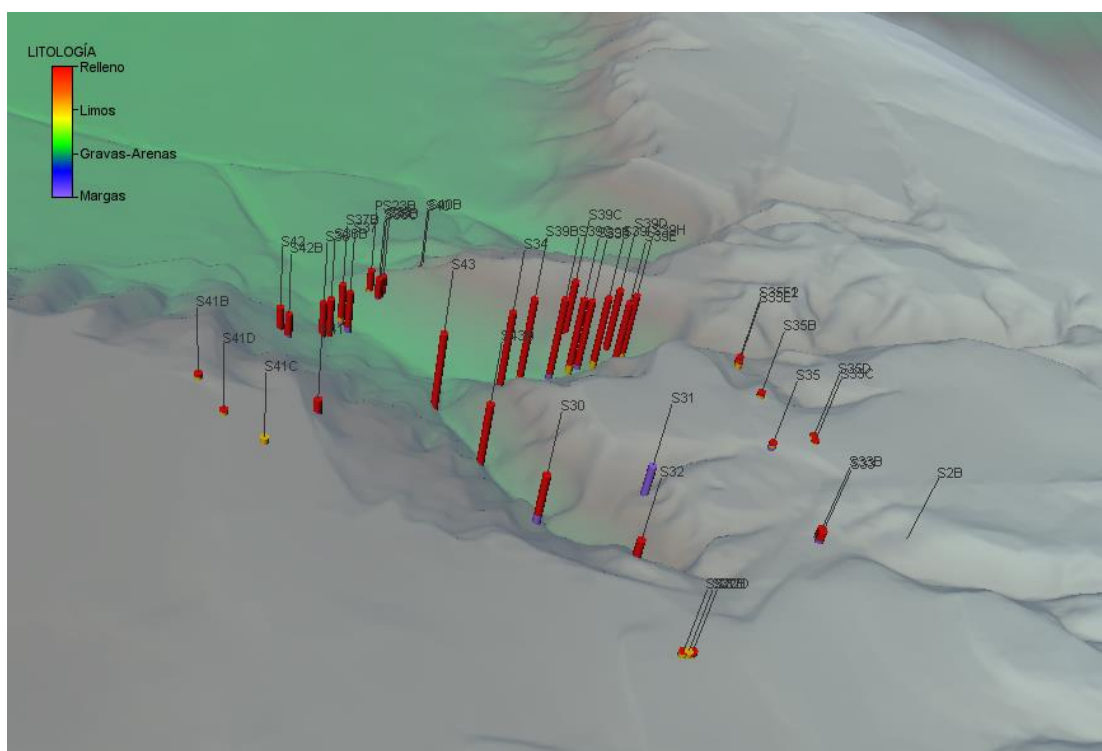
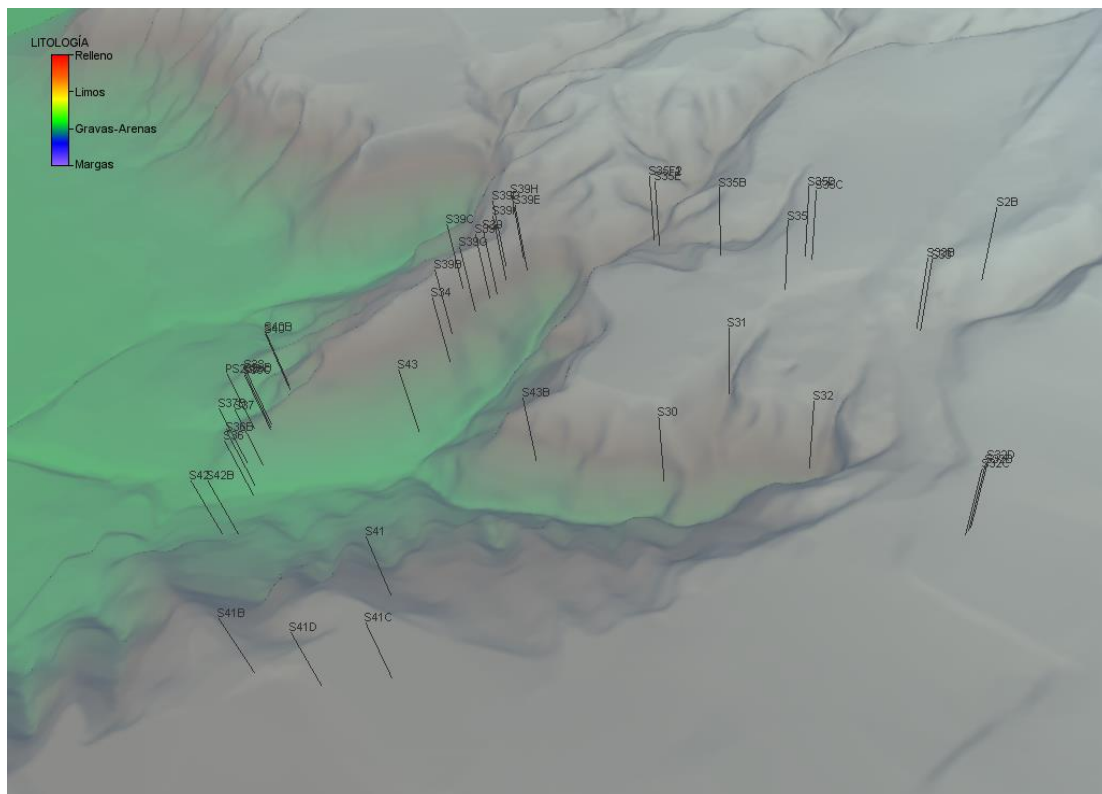
ANEJO VII. REPRESENTACIÓN DE SONDEOS CON VOXLER

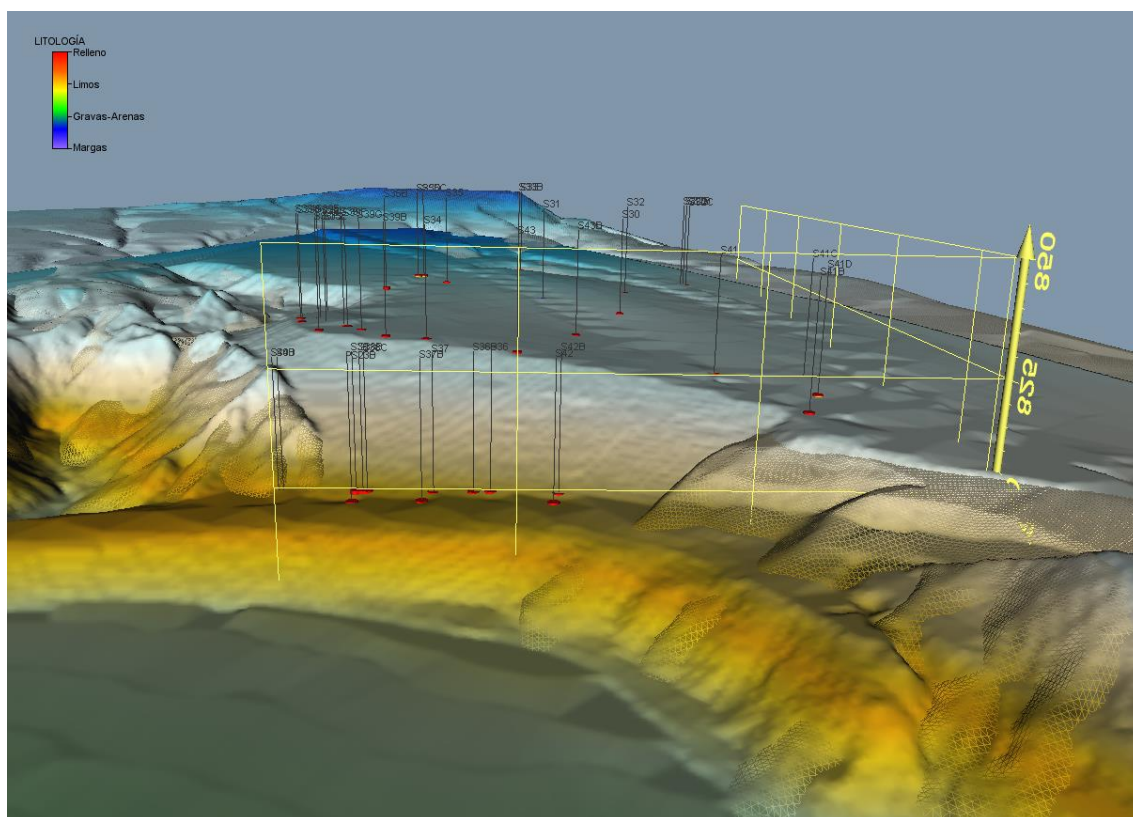
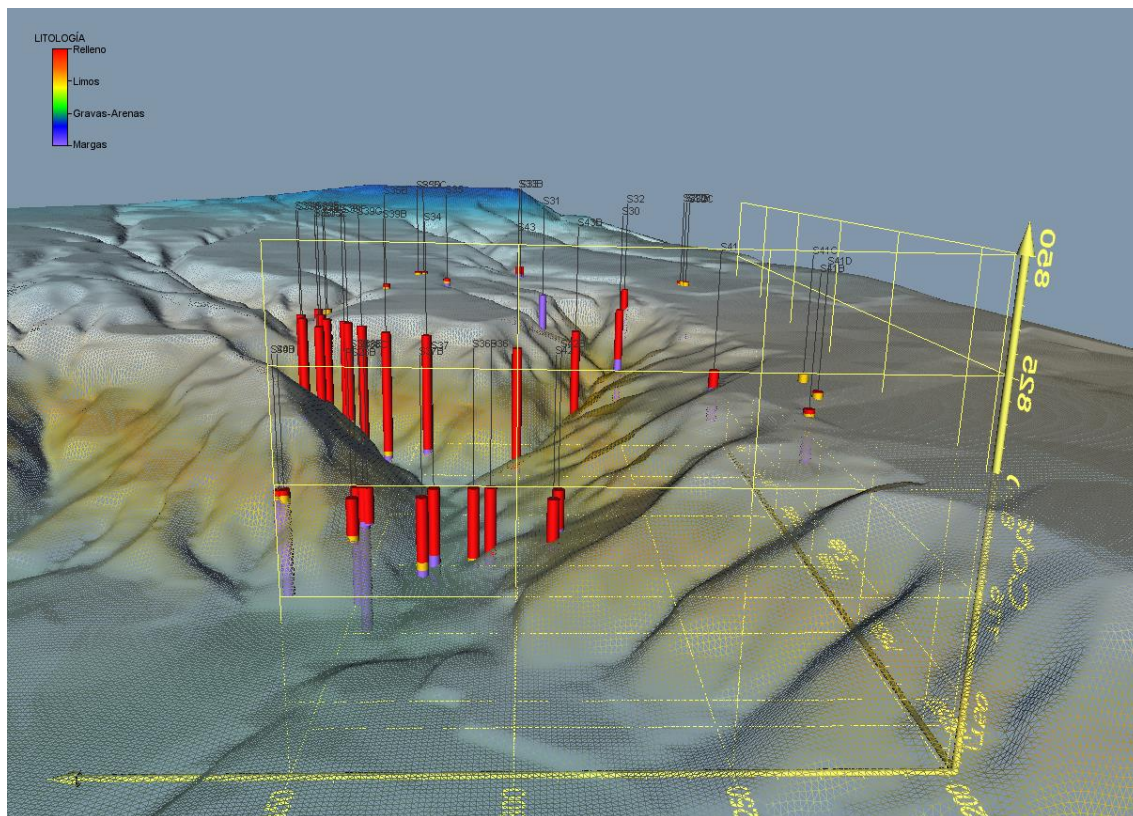
A) VERTEDERO DE SARDAS

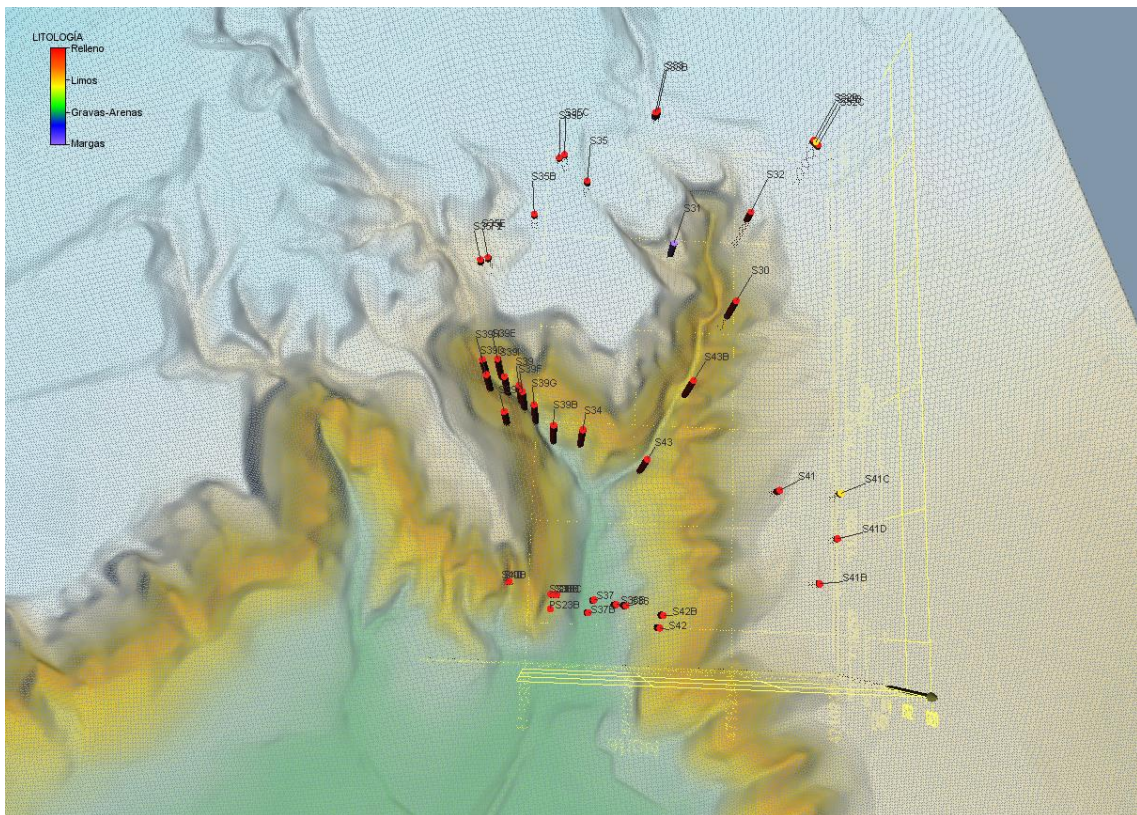
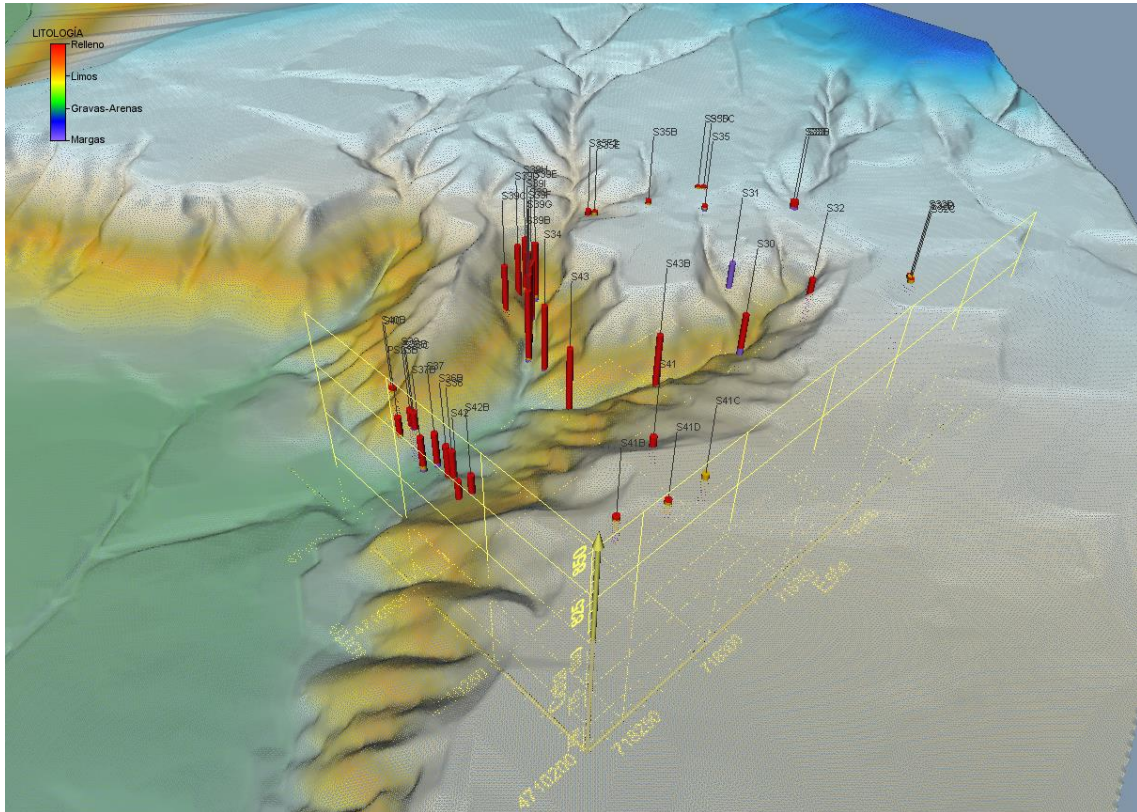




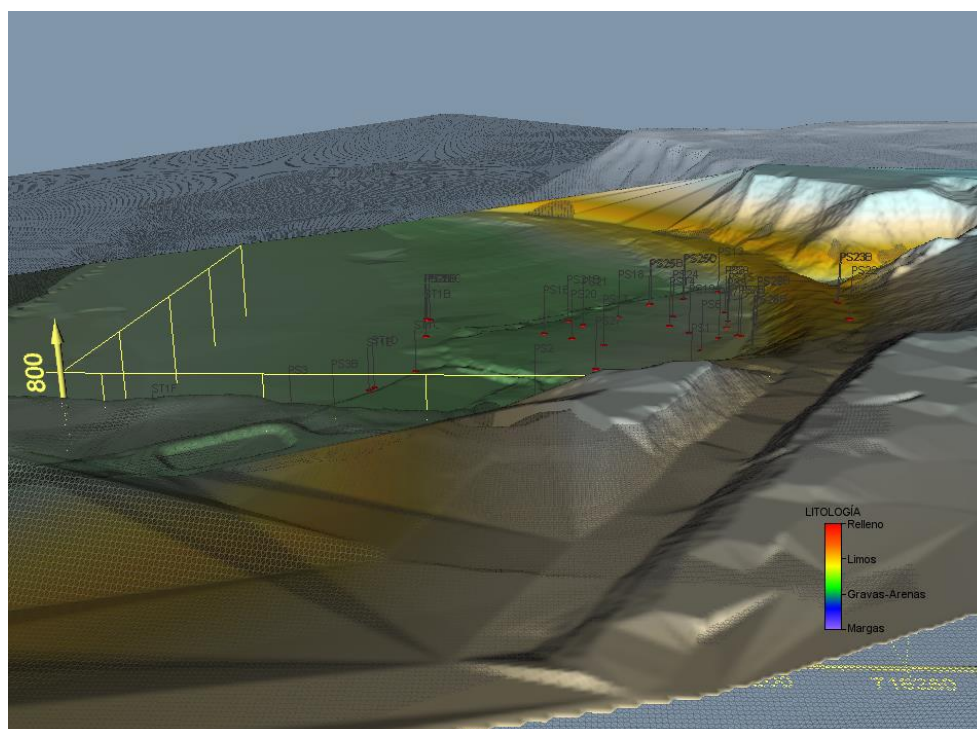
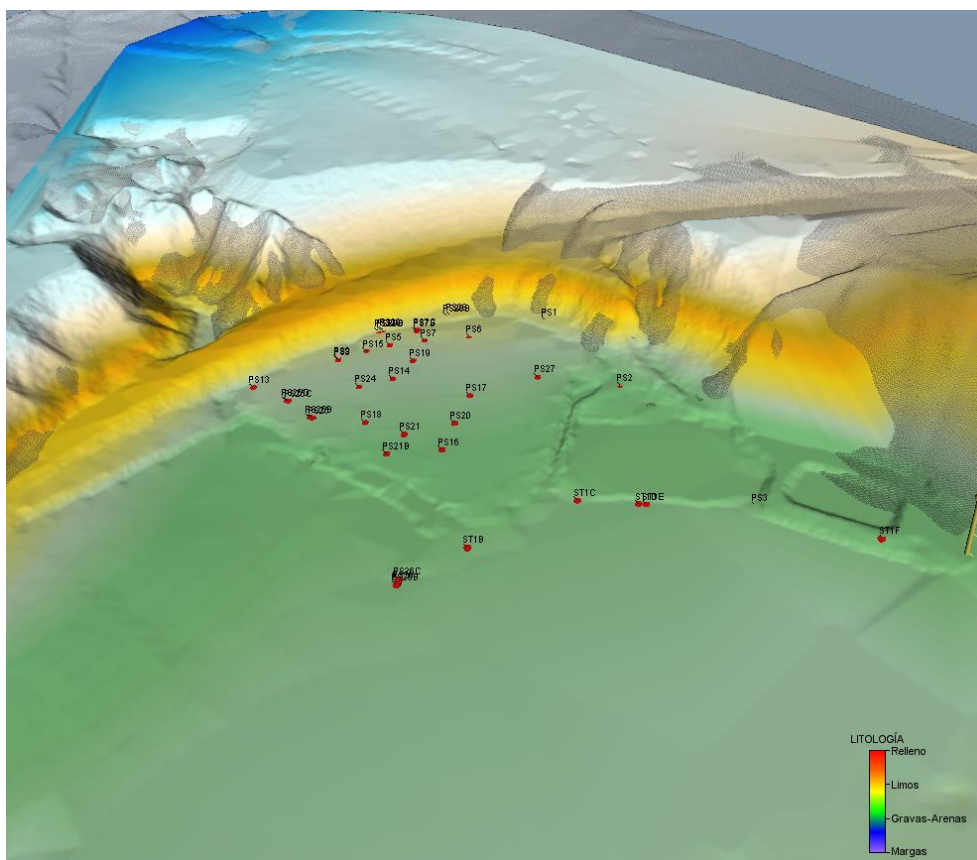
B) VERTEDERO Y ZONA DE PANTALLA

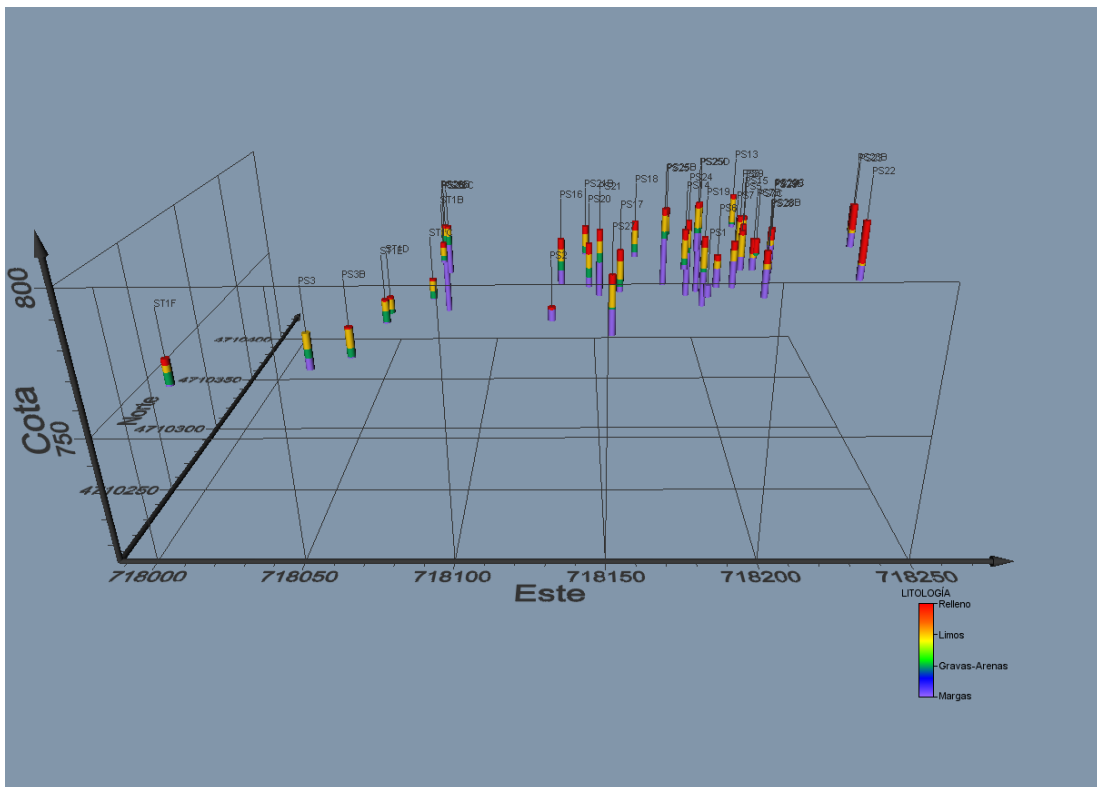
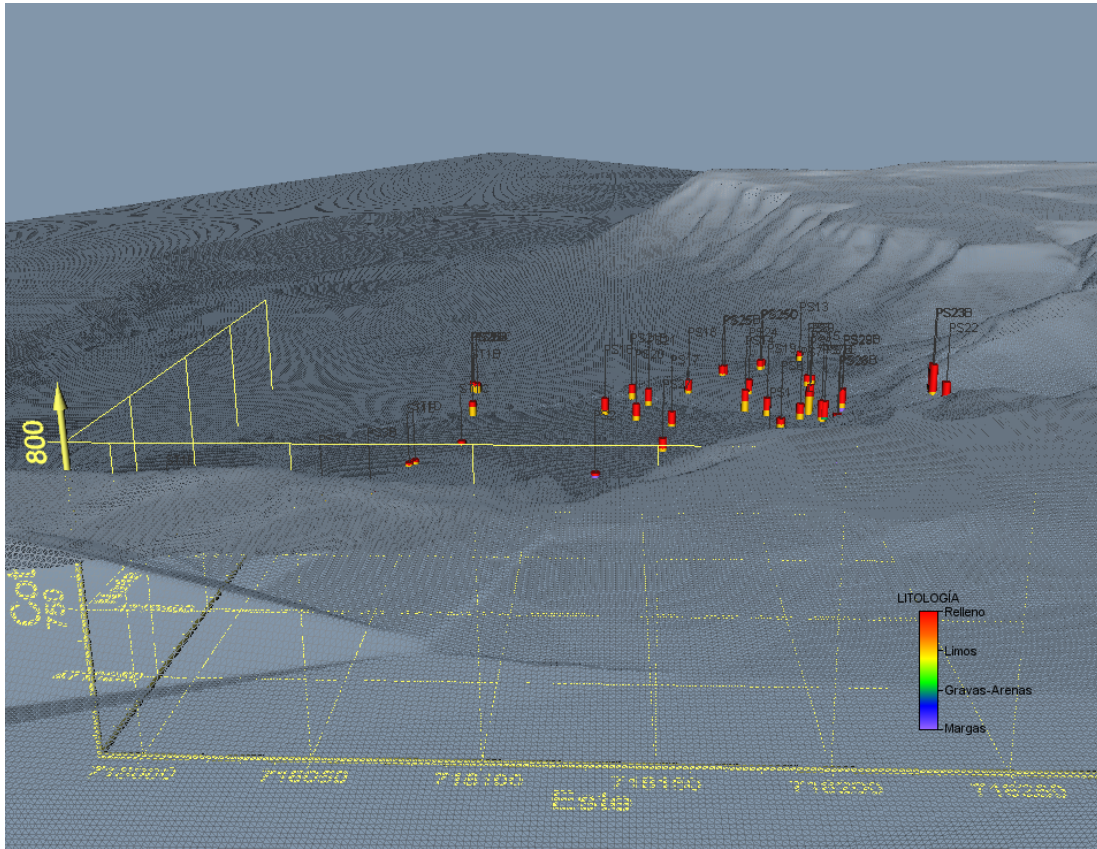


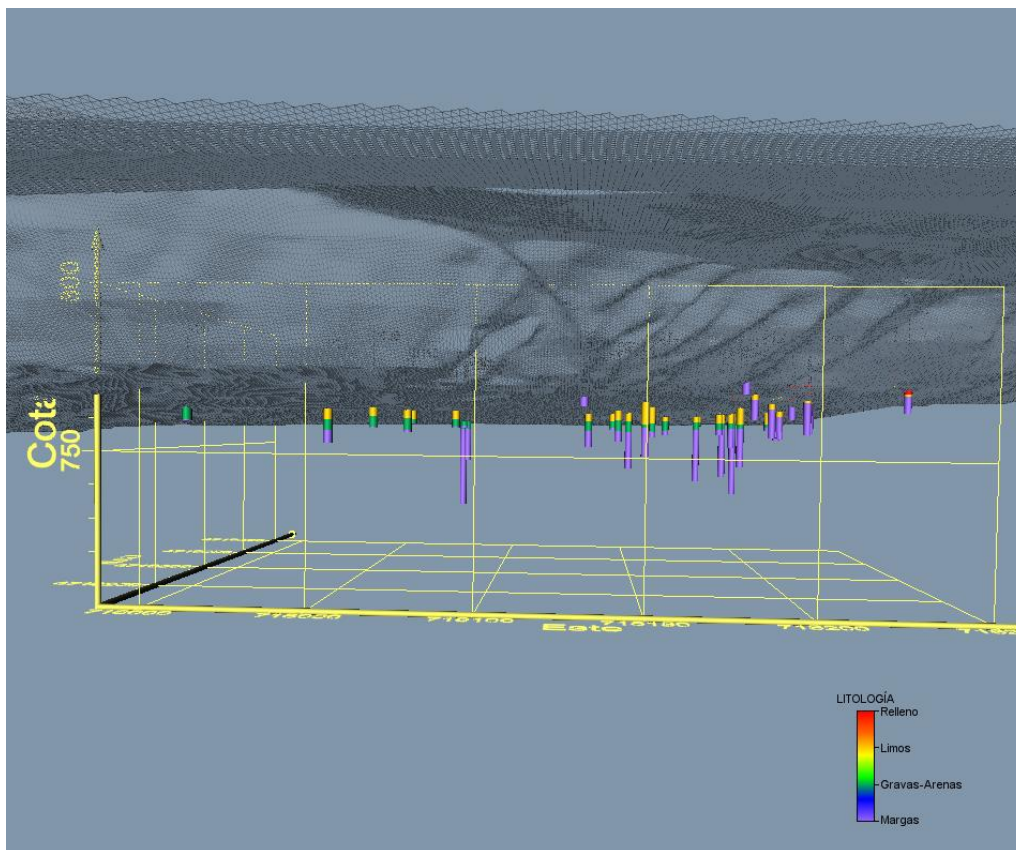




C) ALUVIAL DE FONDO DE VALLE









CEDEX



ANEJO VIII HIDROMETEOROLOGÍA



CEDEX

ANEJO VIII. HIDROMETEOROLOGÍA

VIII.1 Caracterización clima

La Figura A8.1 muestra la serie de precipitaciones anuales registradas en Sabiñánigo. Para su confección se han compuesto las series histórica y actual de precipitación diaria de AEMET 994601 y 994602 considerando equivalentes ambas series. La serie 994601 abarca desde el año hidrológico 1941/42 hasta el 2014/15, mientras que la serie 994602 lo hace desde el 2003/04 hasta la actualidad.

Las precipitaciones anuales se mueven en la banda comprendida entre 440 mm/año (año hidrológico 2004/05) y 1162 mm/año (año hidrológico 1970/71). La precipitación media registrada entre 1941/42 y 2019/20 es de 790 mm/año. El máximo diario registrado es de 124 mm/día del 31/05/1979.

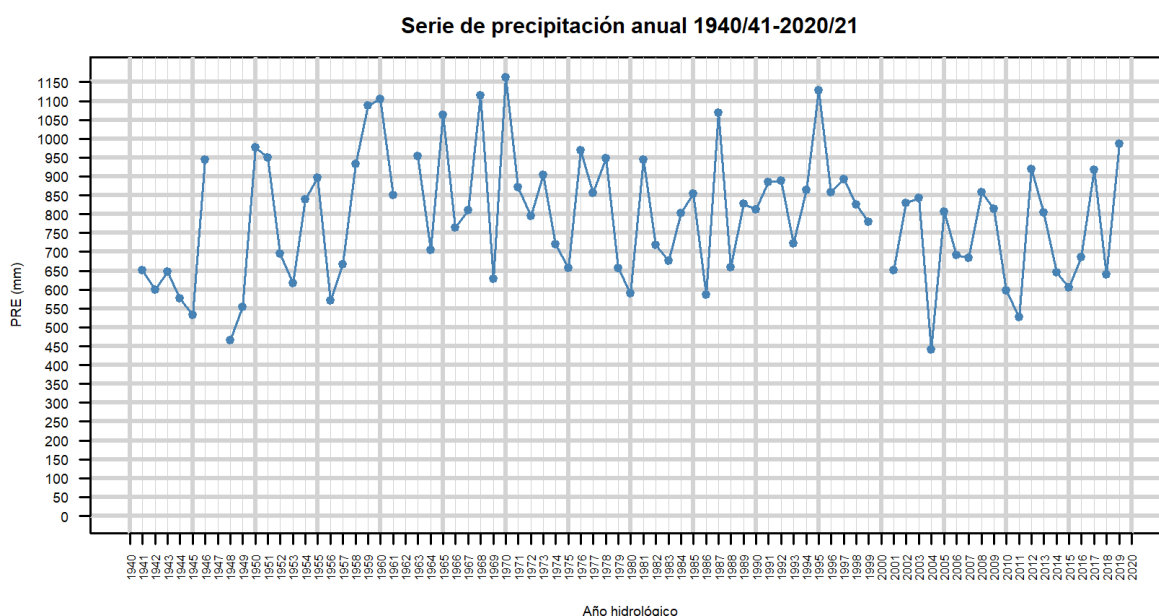


Figura A8.1. Serie de precipitaciones diarias en Sabiñánigo

Las series de precipitación y temperatura muestran características propias de un clima mediterráneo con lluvias de otoño a primavera. La época seca coincide con el verano. Las temperaturas medias mensuales son mínimas en invierno y máximas en verano y superiores a 10°C desde mayo hasta octubre (Figura A8.1). Es relevante destacar que mayo es un mes lluvioso, a partir del cual se produce un ascenso de temperaturas hasta los máximos de julio coincidentes con las precipitaciones mínimas del año.

La información recopilada permite, sobre todo, una evaluación detallada de la evolución diaria de la precipitación y la temperatura en la zona de estudio a esta escala temporal de interés para entender y evaluar los posibles efectos de ambas variables en la lixiviación de contaminantes y su transporte hasta las aguas del río Gállego. Debe recordarse que durante el desmantelamiento del antiguo vertedero de Bailín y el traslado de sus residuos a una nueva celda de seguridad, se produjo un evento de afección a la calidad de las aguas del río Gállego desde Bailín hasta su desembocadura en el río Ebro, asociado a fuertes episodios de tormenta ocurridos en agosto de 2014.

VIII.2 Esquema hidráulico y gestión de la central hidroeléctrica

La Figura A8.2 muestra un esquema hidráulico de las estaciones de aforo y de calidad de aguas superficiales registradas alrededor del embalse de Sabiñánigo. Sobre el eje principal del río Gállego se representan las ubicaciones de los embalses y de las tomas de los canales HE. En rojo se destacan los códigos de las estaciones de calidad de aguas y en azul, los de las estaciones de aforo de caudal.

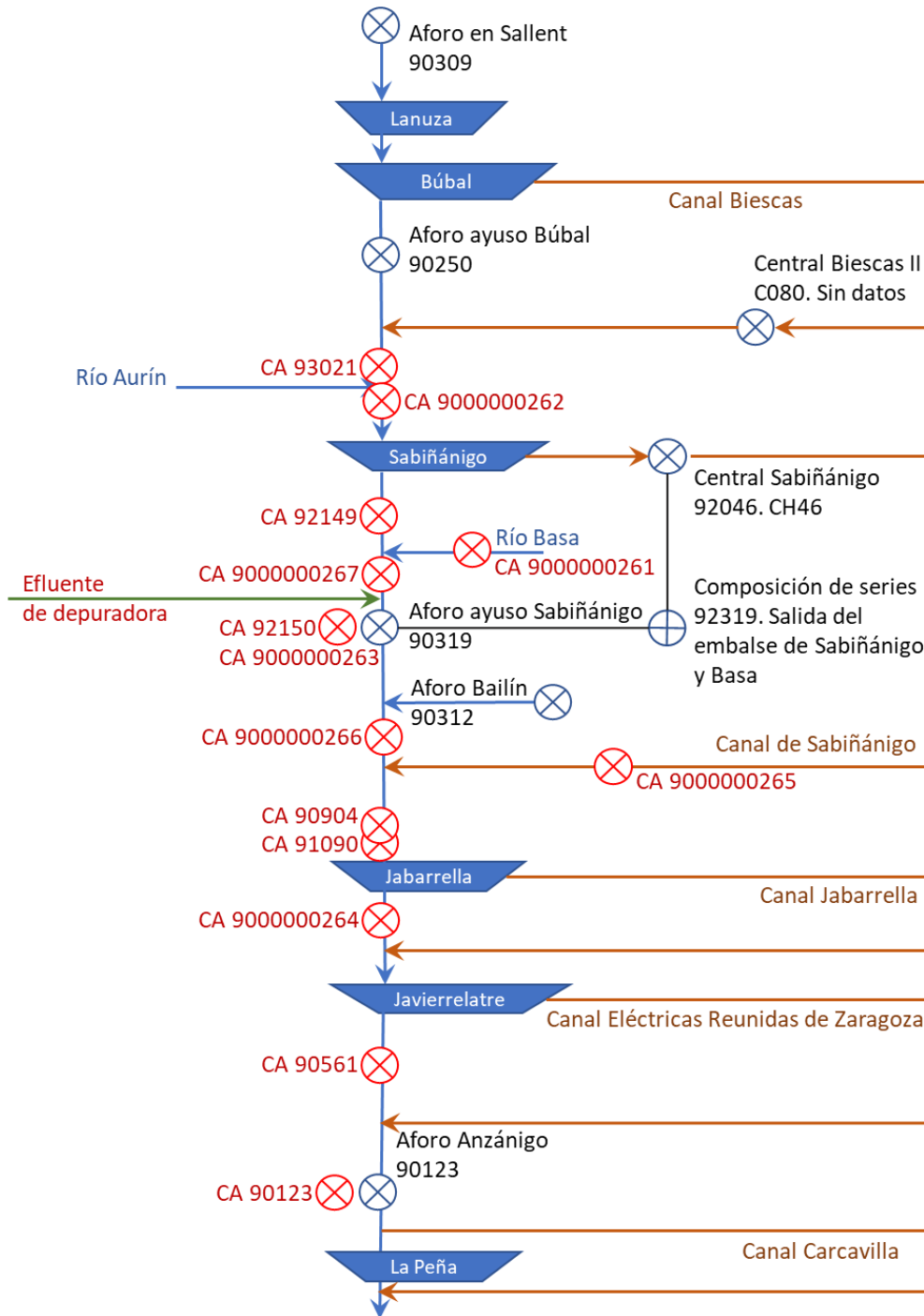


Figura A8.2. Esquema hidráulico en Sabiñánigo



Las series hidrológicas en el entorno de Sabiñánigo son alteradas por los consumos y las operaciones de embalse y derivación hidroeléctrica realizados aguas arriba y en el propio embalse de Sabiñánigo. La serie con menor afección entre las seleccionadas sería la 90309 en Sallent de Gállego por estar situada aguas arriba del embalse de Búbal, aunque cuenta con aprovechamientos en su cuenca.

La Figura A8.3 muestra la serie compuesta 92319 que representaría las salidas del embalse de Sabiñánigo sumando los aforos de 90319 (Figura A8.4) registrados aguas arriba de la confluencia del barranco de Bailín en el Gállego y los registros caudales derivados por el canal HE en 90046 (Figura A8.5).

Sería una estimación de los caudales que llegan al embalse de Jabarella si se asume la escasez de aportaciones en Bailín (Figura A8.6) y otras intermedias procedentes de los arroyos Rapún y Avena. Se dispone por tanto de una serie de aportaciones prácticamente continua desde el año hidrológico 2011/12 hasta la actualidad. Las lagunas de información se deben a faltas de dato en la serie derivada por el canal HE donde también se destacan las paradas de funcionamiento y el registro de caudales nulos.

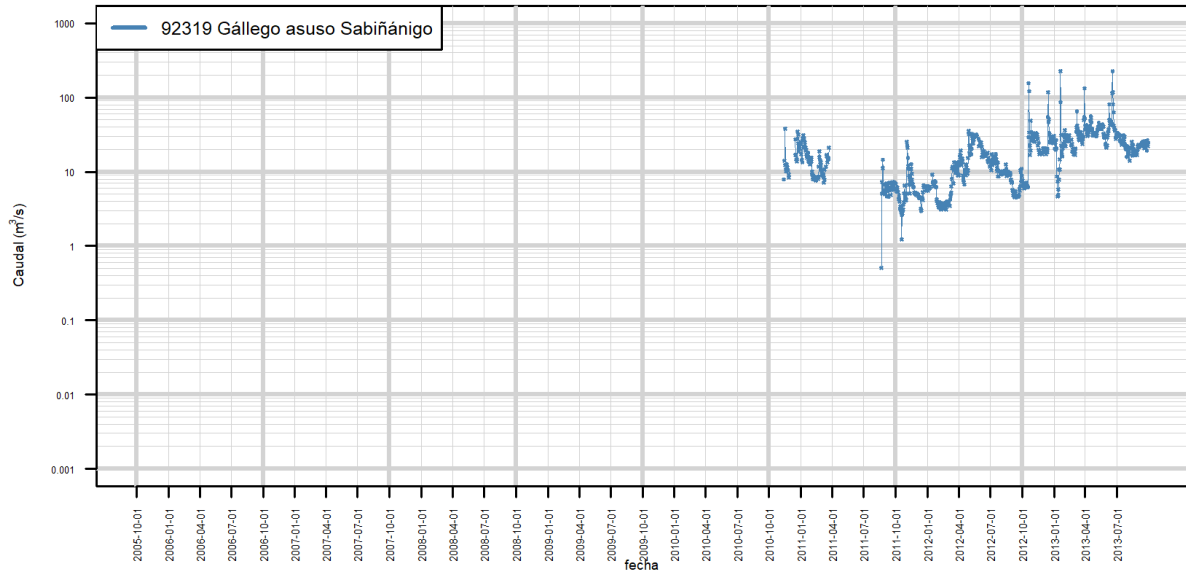
La serie registrada en Bailín se representa en la Figura A8.6. Es también una serie prácticamente continua desde el año hidrológico 2011/12. Los caudales diarios son reducidos, pero hay también fuertes incrementos que llegan a superar los 200 m³/s como los registrados en enero de 2021.

La Figura A8.7 muestra el diagrama de cajas estacional de los aforos registrados en Bailín. Los diagramas de cajas se han trazado del conjunto de datos no nulos. La línea de probabilidad que los acompaña se ha calculado como el número de caudales con registro cero respecto al total de registros. De esta manera, destaca la ocurrencia predominante de crecidas desde los meses de otoño a primavera y la magnitud de los caudales invernales de diciembre a febrero.

En la Figura A8.8 se representan las aportaciones reguladas del Gállego en la estación de Anzánigo, 90123, el siguiente punto con medidas completas.



Series de caudal (oct2005-sep2013)



Series de caudal (oct2013-sep2021)

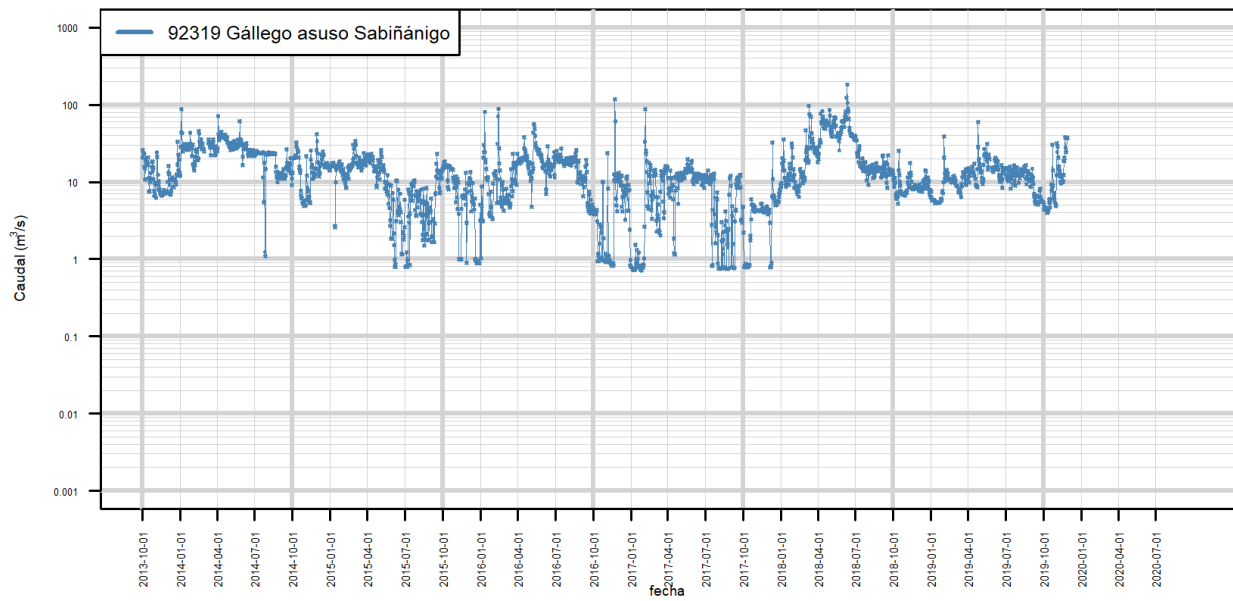
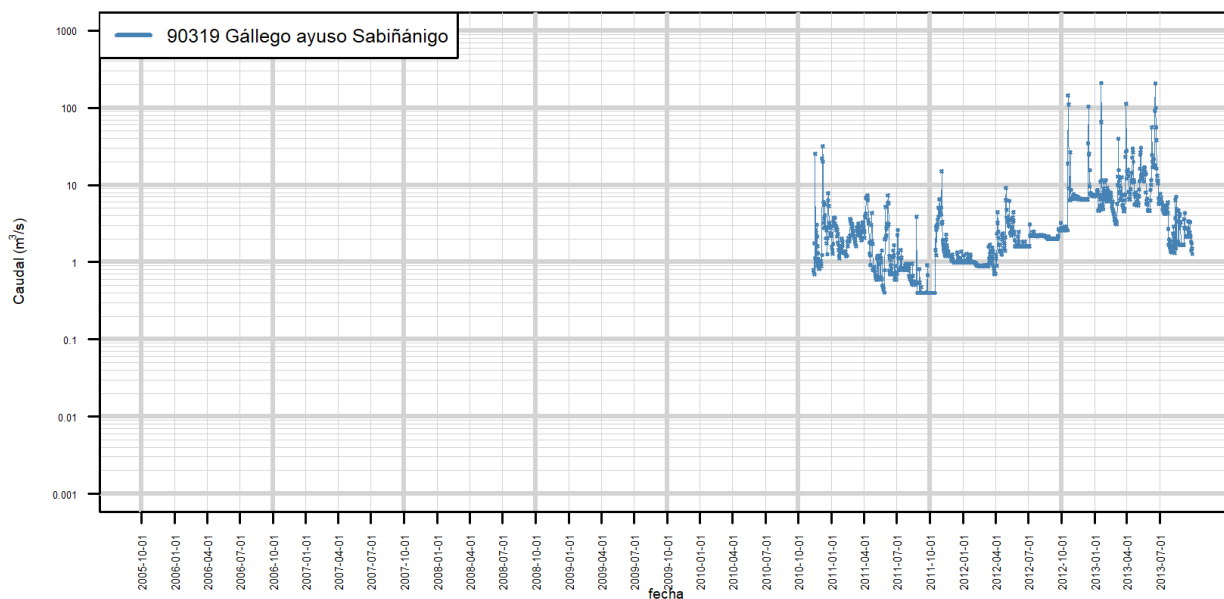


Figura A8.3. Serie de caudales compuesta en Sabiñánigo 92319 considerando las series 90319 y 90046



Serie de caudal (oct2005-sep2013)



Serie de caudal (oct2013-sep2021)

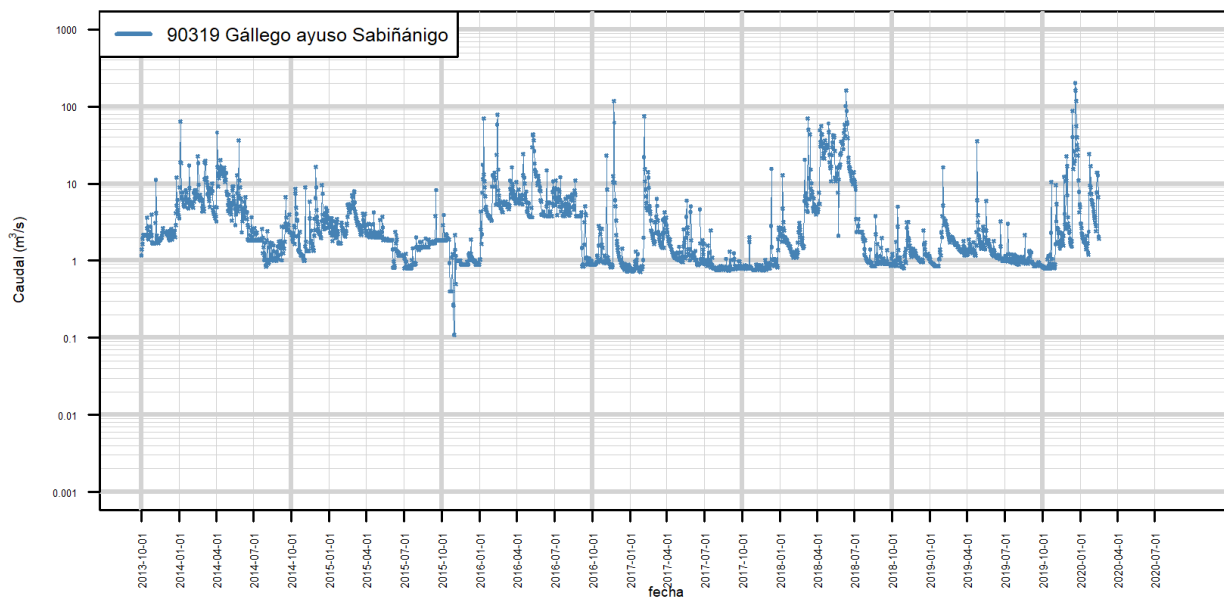


Figura A8.4. Serie de caudales registrados en la estación de aforos 90319, aguas arriba de la desembocadura del Bailín en el Gállego

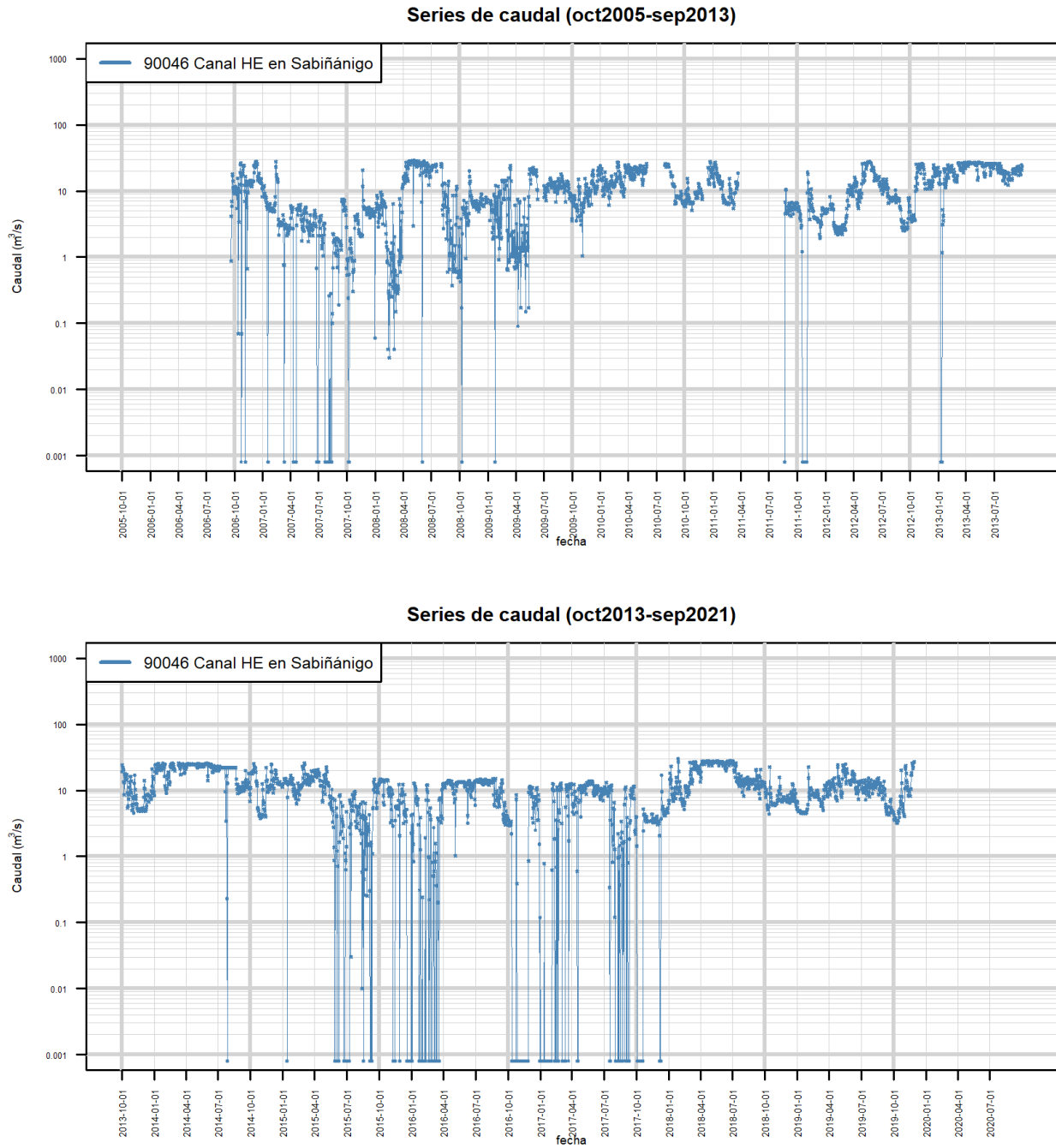
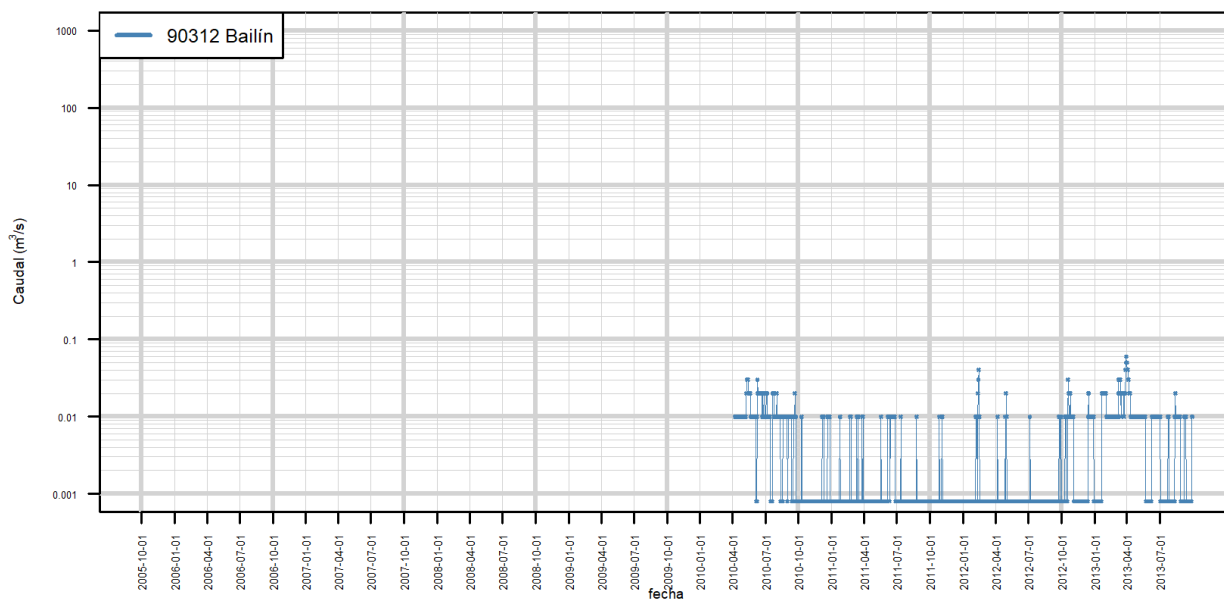


Figura A8.5. Serie de caudales registrados en el canal hidroeléctrico de la central de Sabiñánigo



Series de caudal (oct2005-sep2013)



Series de caudal (oct2013-sep2021)

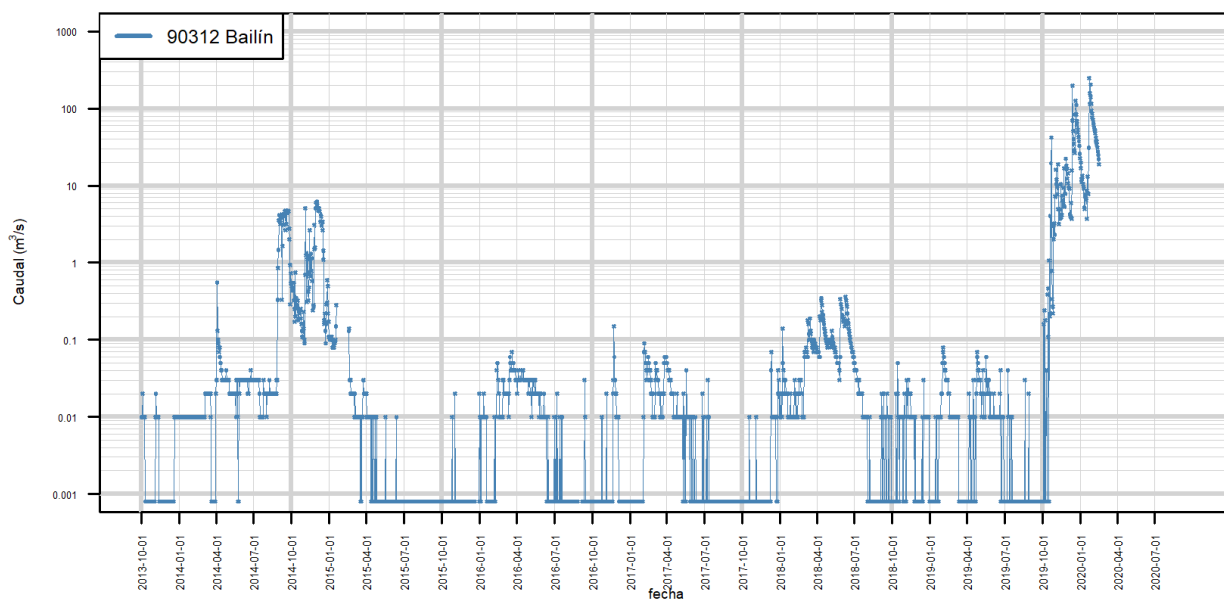


Figura A8.6. Serie de caudales registrados en la estación de aforos 90312 del barranco de Bailín

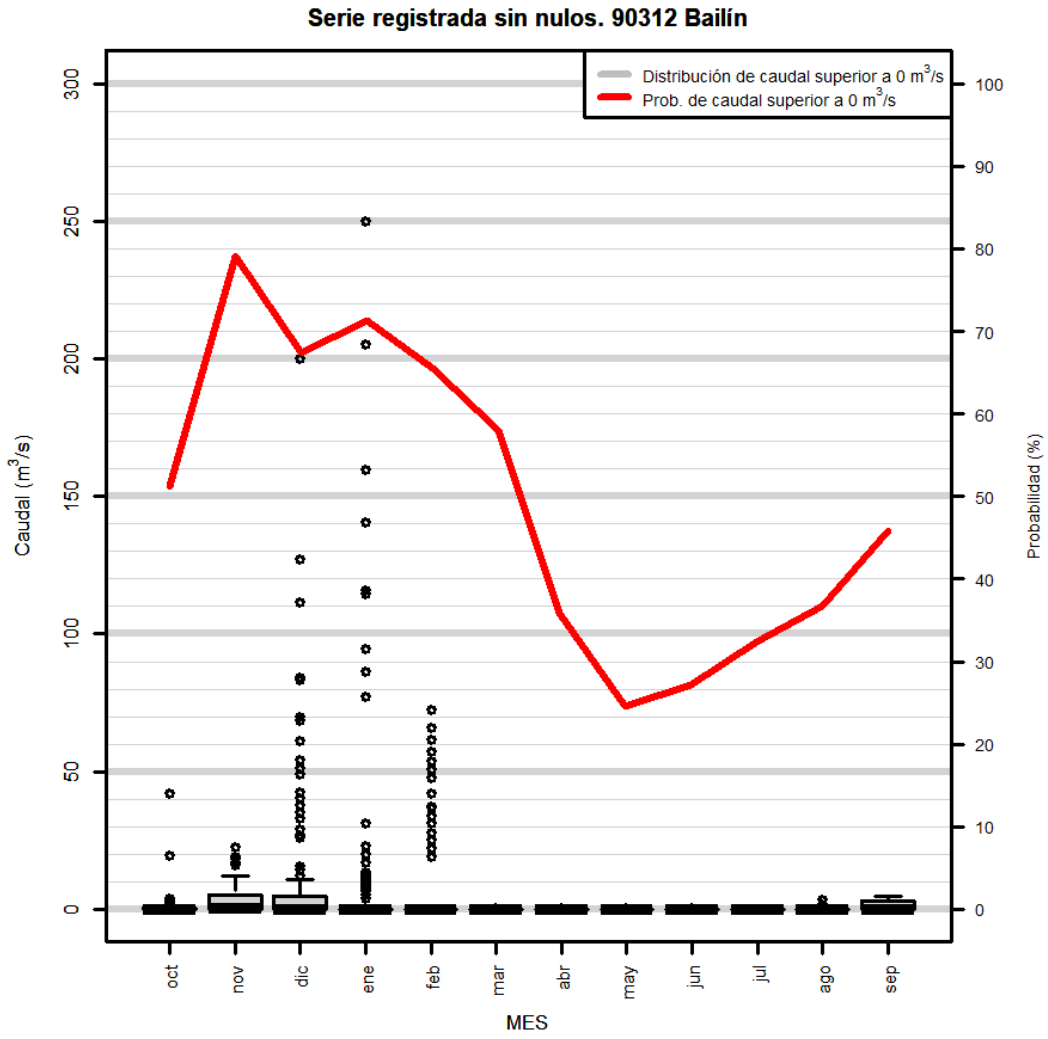


Figura A8.7. Diagrama de cajas de los caudales en Bailín

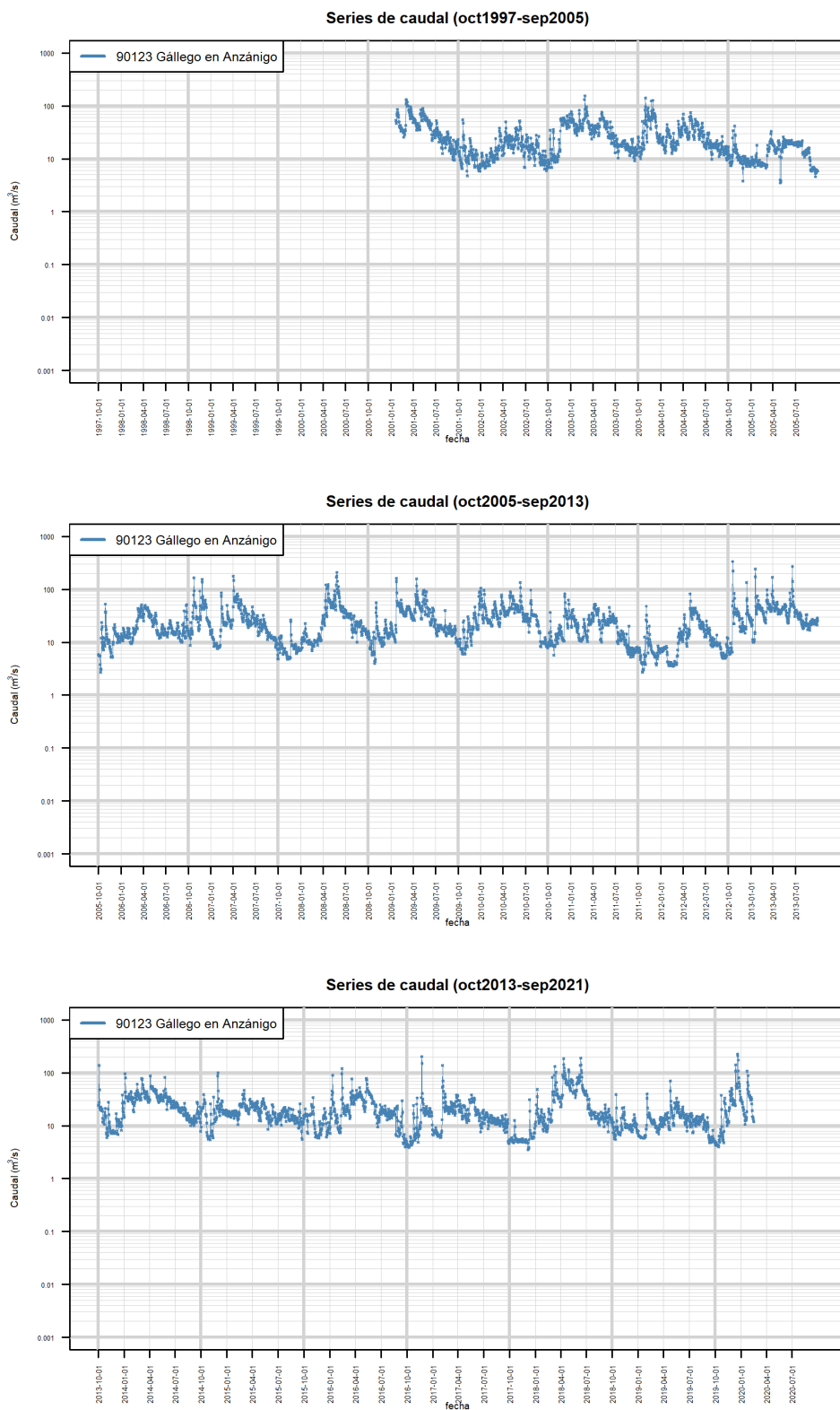


Figura A8.8. Serie de caudales registrados en la estación de aforos 90123 en Anzánigo.

La Figura A8.9 muestra los niveles máximo y mínimo diario del embalse en Sabiñánigo registrados por la red SAIH de la CHE. Son el resultado de las operaciones de gestión del CHS y de las aportaciones que llegan de la cuenca y sistema hidráulico. Los niveles máximos están limitados por el nivel de operación del embalse y por las operaciones de laminación. De la diferencia de ambas series de máximo y mínimo diario se calcula la oscilación máxima diaria en el embalse.

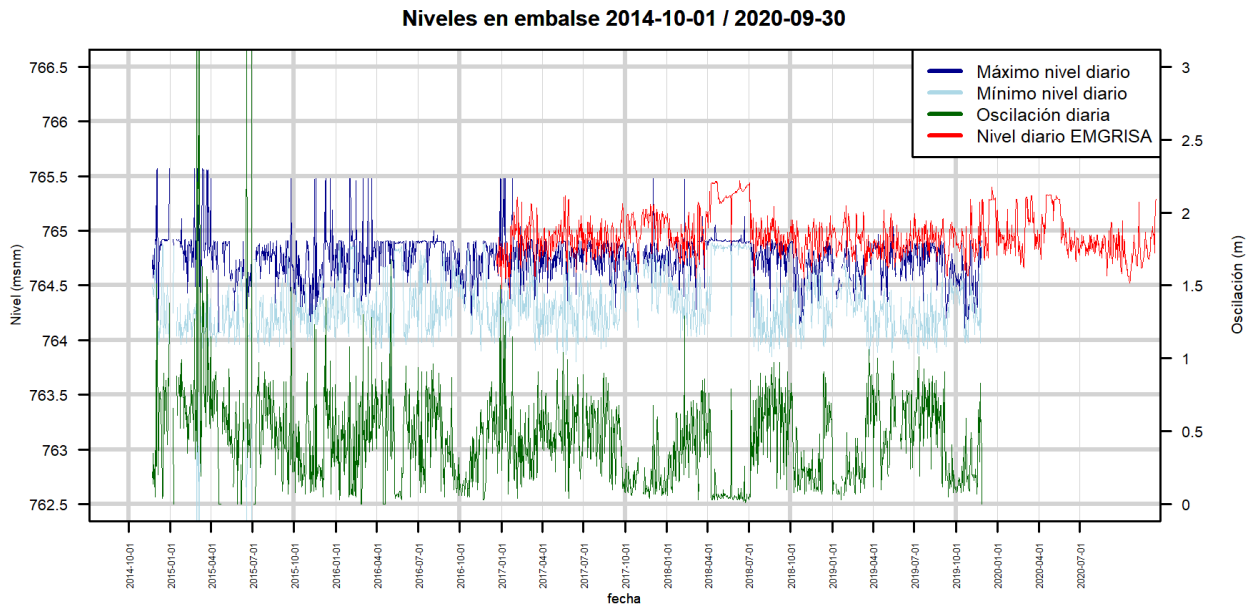


Figura A8.9. Series de niveles máximo y mínimo diario y oscilación diaria en el embalse de Sabiñánigo

La oscilación de niveles rara vez supera 1 m y es variable a lo largo del año, aunque aparentemente es mayor durante la primavera y verano. Finalmente, en la gráfica se incluyen los niveles diarios medidos por EMGRISA en un punto del embalse próximo al vertedero, aproximadamente a 750 m de distancia de la cerrada, por lo que son superiores a los máximos diarios en unos 30 o 40 cm.

La Figura A8.10 muestra un diagrama de cajas de las oscilaciones diarias del embalse clasificadas por meses.

Previamente se han filtrado las oscilaciones de 5 días de febrero (día 28), marzo (días 3 y 6) y junio (días 18 y 30) de 2015, cuyas oscilaciones entre niveles máximos y mínimos diarios superan los 6 m, por lo que se suponen erróneos. También se han filtrado los datos de oscilación de embalse comprendidos entre las fechas de abril y julio de 2018 en los que aparentemente no hay operación hidroeléctrica.

En la Figura A8.10 por tanto, se comprueba que los valores de tendencia central son mínimos en otoño después de la época seca y los máximos se dan en primavera y verano. La variabilidad, que podría considerarse indicativo de la actividad de manejo del embalse, es mayor también entre diciembre y septiembre, seguramente a causa de la variabilidad en la disponibilidad de aportaciones de estos meses.

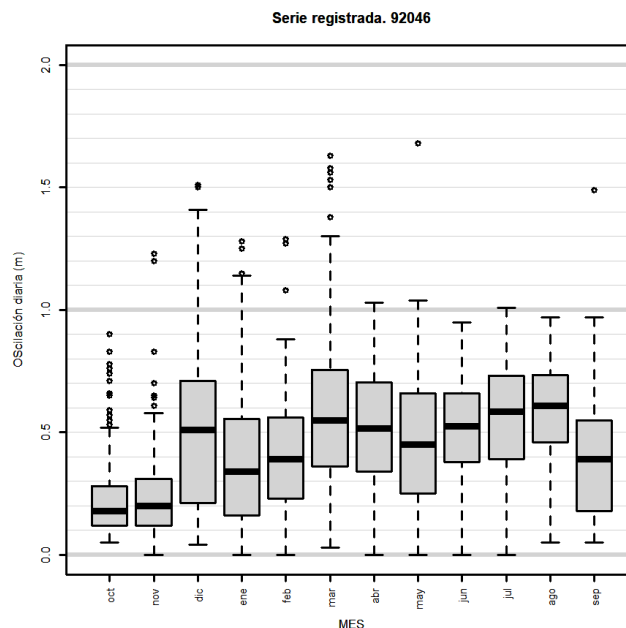


Figura A8.10. Diagrama de cajas de la oscilación de niveles diarios del embalse de Sabiñánigo

VIII.3 Balance hídrico de la cuenca aportadora al vertedero de Sardas

Los términos de balance hídrico en el área de trabajo se pueden consultar de los ejercicios de simulación de recursos hídricos en España utilizados para la planificación hidrológica. Se trata de las 3 cifras básicas (precipitación, evapotranspiración real y escorrentía) en las que se reparte el ciclo hidrológico y lo caracterizan para un periodo suficientemente largo. Las cifras se obtuvieron mediante un modelo de simulación mensual con celdas de 500x500 m² (Álvarez-Rodríguez et al., 2016) con cálculo de la recarga y escorrentía directa o superficial, lo que permite añadir las cifras de reparto superficial/subterráneo en el área de estudio (Tabla A8.1).

Tabla A8.1. Término de balance hídrico en el vertedero de Sardas

Periodo 1940/41-2005/06

Precipitación (mm/año)	Evapotranspiración potencial (mm/año)	Evapotranspiración real (mm/año)	Escorrentía (mm/año)	Recarga (mm/año); Escorrentía subterránea	Escorrentía superficial (mm/año)
832	859	661	171	99	72

Es difícil de delimitar la cuenca vertiente al frente superior del vertedero por el carácter llano y las alteraciones del relieve en la zona. Con aproximación se supone una cuenca de 0,160 km² (Figura A8.11).

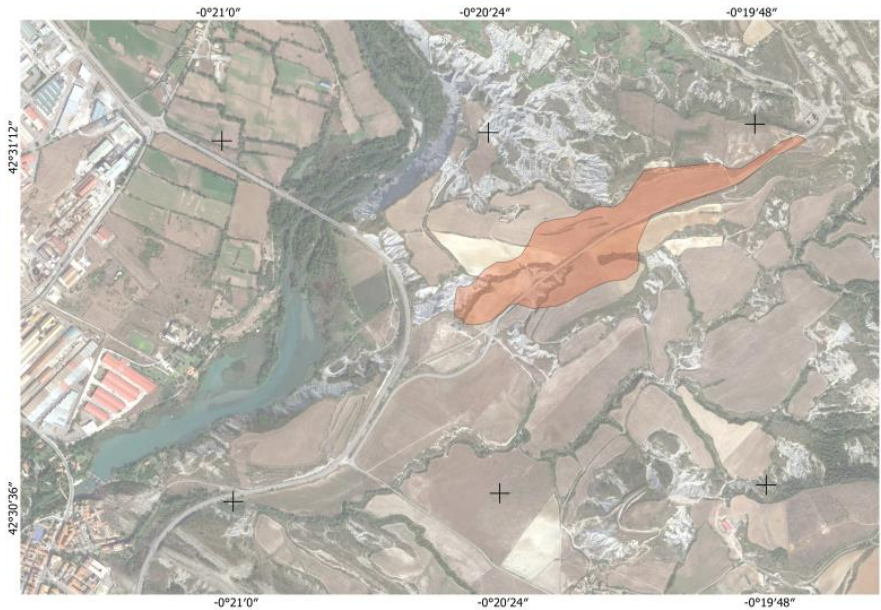


Figura A8.11. Delimitación de la cuenca vertiente al vertedero de Sardas

Considerando que la aportación superficial es desviada a las cárcavas adyacentes y que la subterránea descarga principalmente en la confluencia con el Gállego, se tendrían aproximadamente unos 45 m³/día descargando sobre el frente norte. Como se ha estimado que el drenaje medio recogido en las laderas del vertedero alcanza los 20 m³/día, se tendrían unos 25 m³/día atravesando el vertedero para descargar en el Gállego.

Las cifras anteriores son aproximadas y solo pueden considerarse como una aproximación a los términos de balance hídrico del área de trabajo.

VIII.4 Piezometría

La base de datos de aguas subterráneas dispone de 121 series de niveles piezométricos registrados mayoritariamente dentro de los límites del vertedero de Sardas. La Figura A8.12 muestra el cronograma de datos piezométricos desde el año hidrológico 2008/09.

Tal como se puede apreciar, a lo largo del tiempo se han usado distintos pasos de tiempo de registro, desde el trimestral al mensual y, actualmente, el diario para un número más reducido de piezómetros.

La Figura A8.13 muestra los niveles piezométricos alcanzados en diferentes fechas. Se han seleccionado por la mayor disponibilidad de registros y corresponder a fechas de aguas altas y bajas. En cada punto se han tomado los niveles registrados en una ventana de 5 días (± 2 días respecto al central) ya que las campañas de lectura de unos y otros sondeos pueden durar varios días.

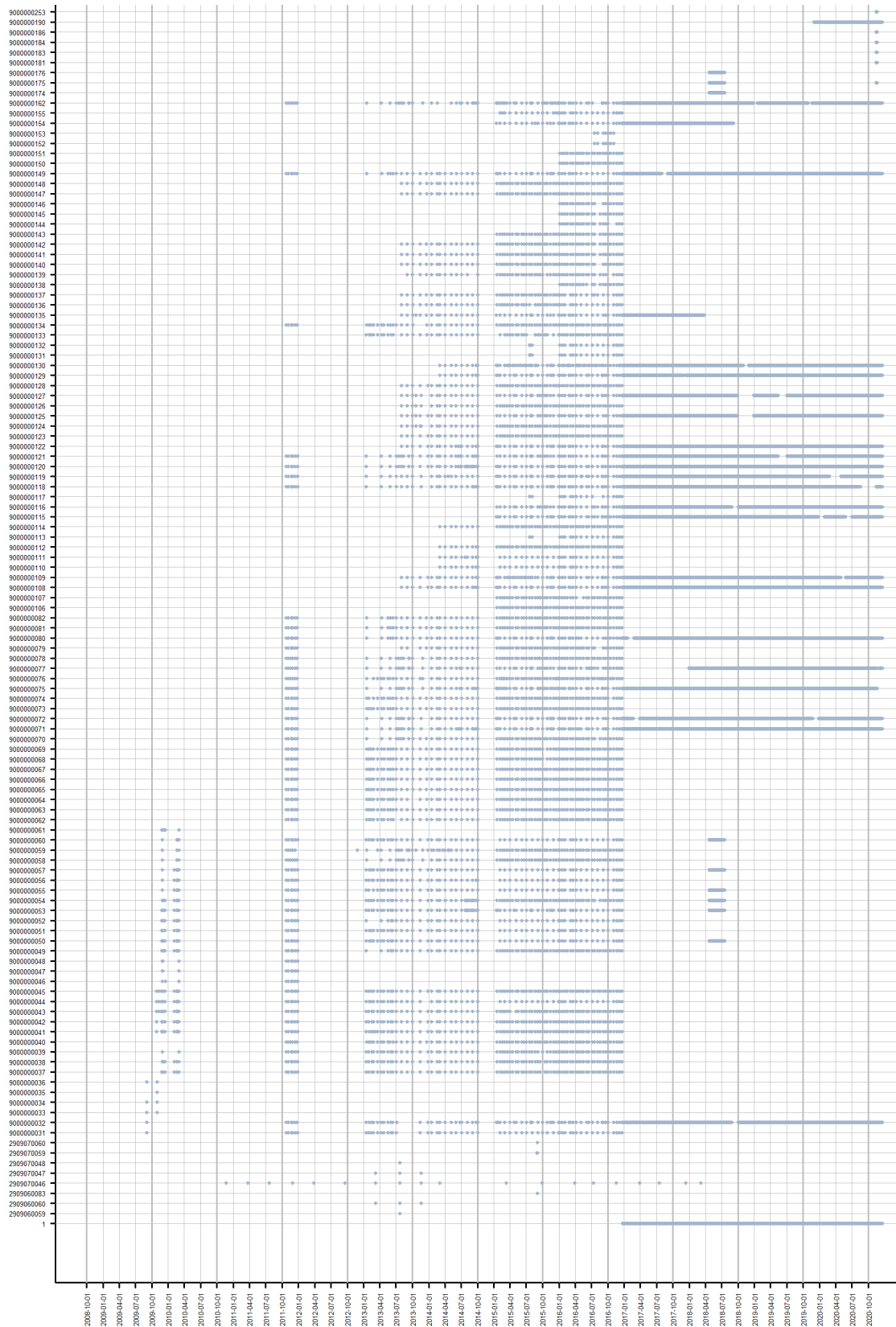


Figura A8.12. Cronograma desde el año hidrológico 2008/09 de piezometría en la base de datos

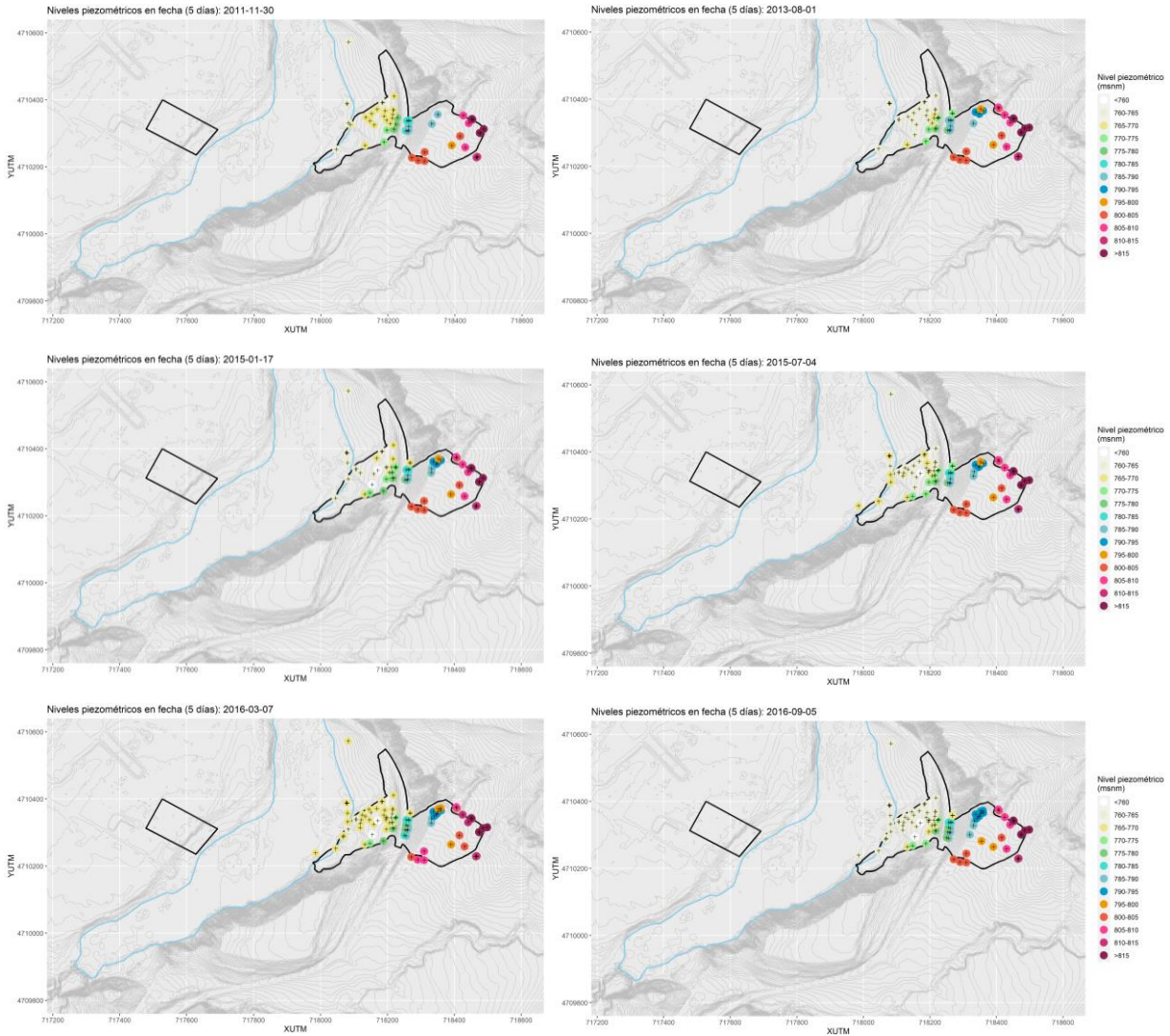


Figura A8.13. Mapas de los niveles piezométricos registrados en diferentes fechas en el vertedero de Sardas

Se observa que los valores son relativamente estables en cualquier época del año. Los valores más altos se alcanzan en el borde del vertedero. Descienden hacia su centro y hacia la pantalla de la carretera donde, de acuerdo con los niveles, el flujo subterráneo se dirigiría predominantemente hacia el borde norte desde donde se comunicaría con la parcela al pie del vertedero de Sardas. En esta última los niveles piezométricos son uniformes con una variabilidad reducida por la influencia de los niveles de embalse. Son apreciables los descensos de niveles locales que se suponen relacionados con operaciones de bombeo.

La Figura A8.14 muestra la situación de una selección de piezómetros representativos de los niveles en el vertedero de Sardas, la zona de la pantalla en la carretera y las parcelas al pie del vertedero cuyas evoluciones se muestran en las Figuras A8.15 y A8.16. Se compara además con la serie de precipitaciones diarias acumuladas en cada año hidrológico para destacar la relación entre ambas variables.

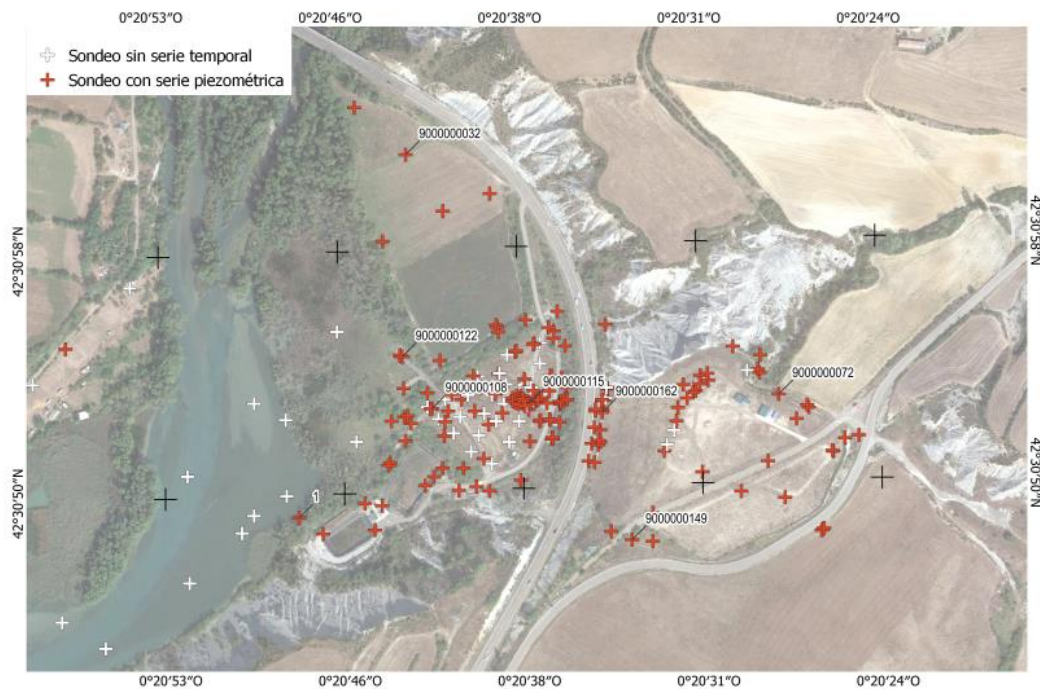


Figura A8.14. Selección de piezómetros representativos

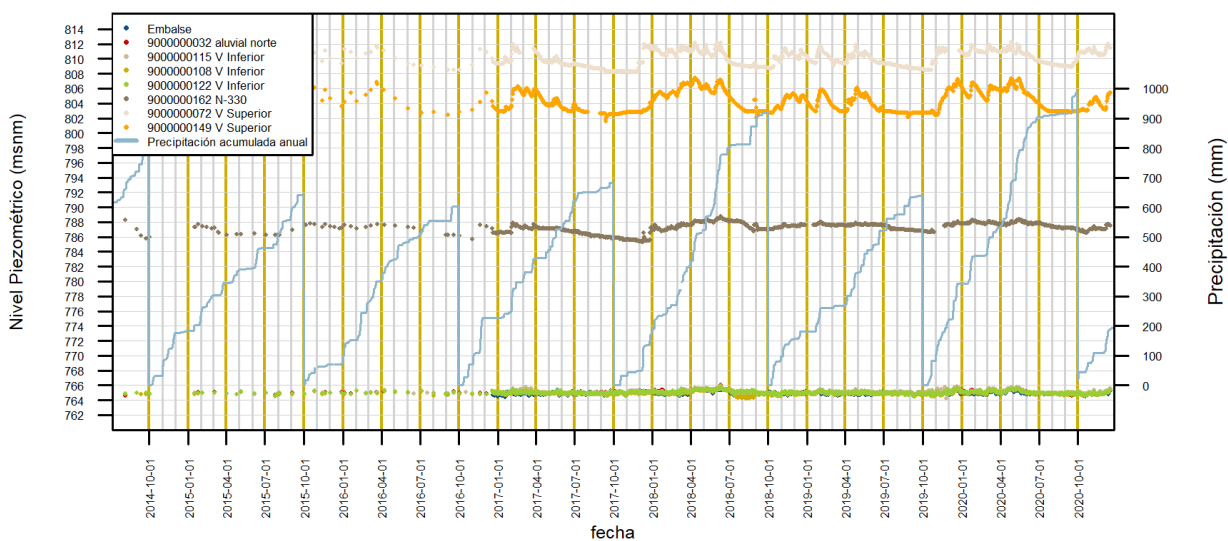


Figura A8.15. Comparativa de la evolución de la precipitación acumulada de Sabiñánigo a inicio del año hidrológico y de los niveles piezométricos en el vertedero de Sardas

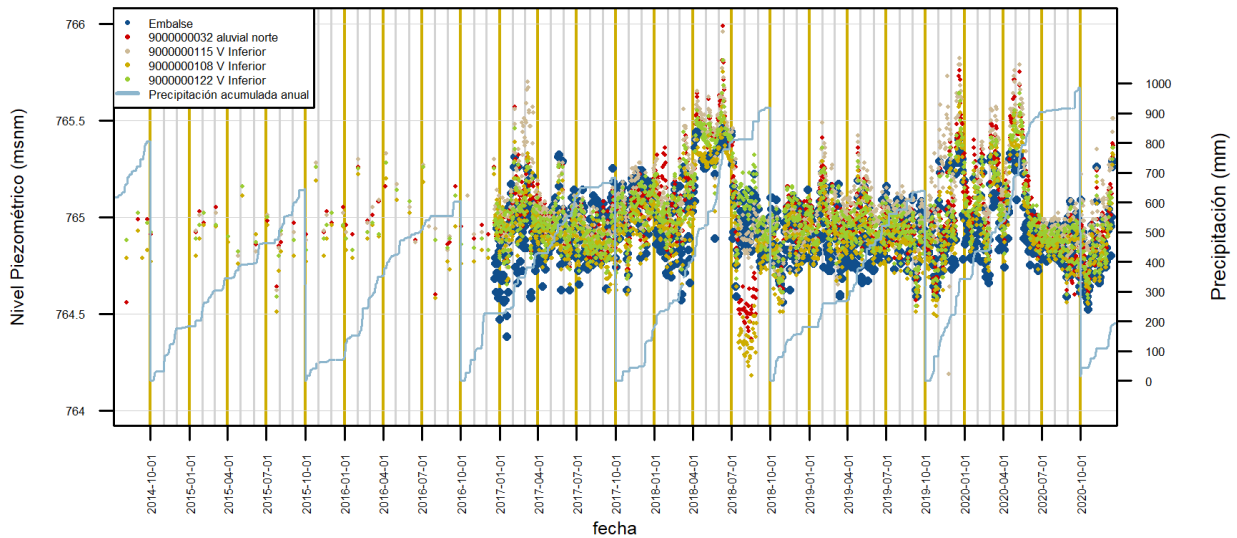


Figura A8.16. Comparativa de la evolución de la precipitación acumulada de Sabiñánigo a inicio del año hidrológico y de los niveles piezométricos en las parcelas al pie del vertedero de Sardas

La variabilidad de los niveles piezómetros del vertedero es la mayor del conjunto disponible. Reaccionan rápidamente a las lluvias, bien por infiltración, bien por las escorrentías que generan las tormentas en las cuencas de alrededor. Los dos piezómetros (900000072 y 900000149) seleccionados se ubican en el borde del vertedero ya que otros centrados tienen menor disponibilidad de datos y muestran series influidas por series de bombeo y recuperación.

No obstante, la evolución piezométrica es lenta con un nivel base al que las ramas de recesión llegan en plazos cortos de 1 a 2 meses al cesar las lluvias. Suponiendo aplicable el modelo de tanque al volumen almacenado en el vertedero en el que el drenaje sería proporcional a la carga de agua en el mismo, el tiempo de semivaciado (días) se obtiene a partir de la selección de diversas ramas de recesión de los niveles piezométricos en épocas de lluvia reducida o nula, calculando la pendiente de cada rama en escala logarítmica y aplicando la Ecuación 1, donde LN es el logaritmo neperiano y α es el coeficiente de recesión o de tanque, expresado en días⁻¹. Con los datos del piezómetro 900000149 se aproxima a los 25 años, lo que resulta razonable considerando la existencia de la pantalla de la carretera. En la zona de pantalla es notable el efecto de laminación que se produce y muy escasa la variabilidad desde un nivel base (9000000162).

Ecuación 1. Tiempo de semivaciado

$$t_{1/2} = \frac{LN(2)}{\alpha}$$

Y en las parcelas al pie del vertedero de Sardas los niveles piezométricos (9000000032, 9000000115, 9000000108 y 9000000122) muestran una estrecha relación con los niveles del embalse. Las operaciones de mantenimiento de niveles del año hidrológico 2017/18 aparecen reflejadas en los niveles piezométricos del trimestre de abril a junio de 2018 a los que sigue una caída mayor que la registrada por los niveles del embalse.



ANEXO IX ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL VERTEDERO DE SARDAS



CEDEX



ANEXO IX ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN EL VERTEDERO DE SARDAS

IX.1 Caracterización básica del lindano, producción y generación de residuos

Se estima que en el vertedero de Sardas hay vertidos en total unos 400.000 m³ de residuos de origen urbano, industrial y de producción de lindano. En cuanto a estos últimos, el volumen total de residuos sólidos de HCH existente en el vertedero está comprendido entre 50.000 m³ y 80.000 m³, los cuales están constituidos mayoritariamente por una mezcla de isómeros de hexaclorociclohexano (HCH) y otros ciclohexanos policlorados. Hay, además, restos de reactivos volátiles necesarios para la fabricación de lindano, de otros compuestos obtenidos en procesos intermedios de ésta, tales como benceno, tolueno y mono, di y triclorobenzenos, y de compuestos procedentes de la degradación del HCH en el terreno, entre los que se encierran los últimos citados y varios policlorofenoles. Por último, hay además unos 3 000 m³ de DNAPL derivados de la síntesis del lindano.

El primer producto que se fabricó, mediante la cloración de benceno, fue el conocido como HCH técnico, una mezcla artificial de isómeros de hexaclorociclohexano que fue ampliamente usado entre las décadas de los años 30 y 90 del siglo XX por su alta eficacia para el control de plagas en cultivos agrícolas y de enfermedades infecciosas transmitidas por vectores tales como la pediculosis causada por los piojos y la sarna (MSC, 2009) y que actúa tanto por contacto dérmico como por ingestión. Dado que el isómero γ -HCH, conocido como lindano (CAS 58-89-9), es el de mayor potencial insecticida de dicha mezcla y, por tanto, de mayor interés industrial, el proceso de fabricación de estos insecticidas añadió un proceso de purificación por destilación con metanol del HCH técnico, para concentrar el lindano, que ha sido uno de los pesticidas más empleados en todo el mundo.

A pesar de ello, debido a su alta toxicidad para la salud humana y los ecosistemas, en 2007 los HCH se incluyeron en la lista de contaminantes orgánicos persistentes de la Unión Europea (Convenio de Estocolmo, 2017) y en 2008 se prohibió su uso. La exposición aguda del lindano e isómeros en seres humanos se manifiesta por diarreas fuertes y convulsiones que en última instancia pueden conducir a la muerte, mientras que una exposición moderada y continua pueden derivar en la cronificación de problemas relacionados con el sueño, estrés, vómitos y sensibilización en general. Se han constatado en diversos estudios que tanto el lindano como el HCH técnico presentan efectos neurológicos, hepáticos y carcinogénicos en animales y seres humanos (NTP, 2016) y tóxicos para diferentes especies de plantas, afectando a su germinación, crecimiento y desarrollo inicial (DGPI, 2016).

El método de producción industrial del lindano usado en Sabiñánigo fue el más común que se emplea en este tipo de procesos, consistente en la cloración fotoquímica del benceno en presencia de gas cloro, luz ultravioleta y catalizadores tales como hipoclorito de sodio, tricloruro de boro o peróxidos orgánicos (Amadori, 1993).

Estos últimos actúan como activadores químicos de la reacción, ya que bajo estas condiciones son inestables y generan radicales libres que desplazan la reacción de un proceso de sustitución electrófila a uno de adición, aportando a su vez la energía necesaria para la ruptura de moléculas de cloro gas. De esta manera se obtienen radicales libres de clorofenilo que colisionan a su vez con átomos de cloro en una

cadena de reacciones en la que se van incorporando sucesivamente átomos de cloro a la molécula de benceno hasta la obtención del HCH técnico (Figura A9.1).

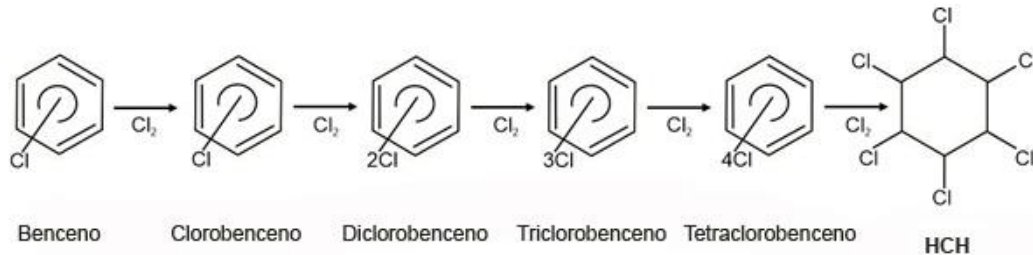


Figura A9.1. Cloración sucesiva del benceno hasta la obtención de HCH técnico

El HCH generado está formado por una mezcla de cinco isómeros estables: α , β , δ , γ y ϵ (cuya estructura molecular se puede apreciar en la Figura A9.2) y por otros productos secundarios de reacción tales como el clorobenceno, policlorobencenos (PCBs) con entre uno y cinco cloros en la molécula, y el heptaclorobenceno (heptaCB).

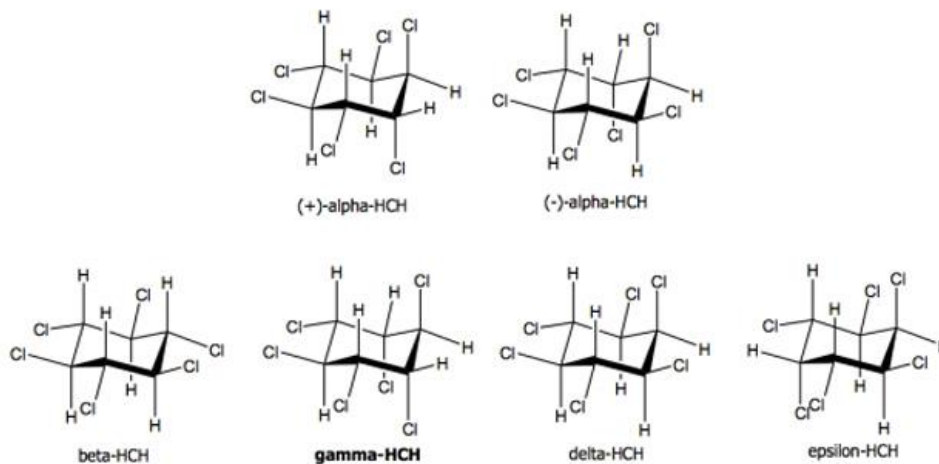


Figura A9.2. Estructura molecular de los principales isómeros de HCH

Finalmente, el HCH técnico se purifica en una última etapa para concentrar el isómero γ -HCH mediante destilación fraccionada y posterior cristalización fraccionada con metanol, en base a la diferente solubilidad de los isómeros.

Los isómeros α y β se obtienen en gran cantidad durante la primera etapa de la producción del lindano, mientras que los isómeros γ , δ y ϵ se producen sobre todo durante el proceso de purificación de los disolventes usados en su producción, por lo que estos últimos se encuentran en menor concentración en el HCH técnico. A continuación, se citan las principales propiedades de estos cinco isómeros:

- El isómero α -HCH es el compuesto principal del HCH técnico, ya que se encuentra en éste en una proporción del 55-70%. Es moderadamente persistente en suelos, muy persistente por largos periodos de tiempo a temperaturas por debajo de 5°C y se bioacumula en tejidos animales, siendo de hecho el isómero con mayor efecto neurotóxico y hepatotóxico. En climas tropicales es



susceptible a sufrir degradación mediante procesos bióticos como abióticos de fotodegradación o hidrólisis, este último sobre todo a temperaturas ambiente por encima de 30°C. En polvo se suspende y se mantiene en la atmósfera fácilmente, transportándose largas distancias hasta finalmente condensar y volver a la superficie.

- El isómero β -HCH, que forma parte del HCH técnico en un porcentaje del 3-14 %, es menos soluble en agua que el resto de isómeros, por lo que en principio se debería encontrar en mayor concentración en el embalse de Sardas, a pesar de que la presencia de materia orgánica en aguas superficiales pueda facilitar su solubilidad en agua. Tiene un volumen molecular más reducido que el resto de isómeros, ya que tiene sus cloros en posición ecuatorial, lo cual les confiere una mayor estabilidad y resistencia frente a procesos de hidrólisis y de degradación biótica, hecho por el cual es el isómero predominante en suelos y tejidos animales. En polvo no se traslada largas distancias, depositándose en aguas superficiales cercanas (deposición húmeda).
- El δ -HCH forma parte constituyente del HCH técnico en un porcentaje del 6-10 % y su presencia se debe a los procesos de purificación de los disolventes utilizados para la producción del lindano. No se dispone de datos toxicológicos suficientes de este isómero, pero se le considera un compuesto con efectos tóxicos y cancerígenos. Es uno de los isómeros menos estables en el medioambiente.
- El γ -HCH o lindano constituye entre un 11-18% del HCH técnico, y solo se consigue recuperar en torno al 10% tras la purificación de la mezcla obtenida. Este isómero, que tiene tres átomos de cloro en posiciones axiales alternas, es el más soluble tanto en agua como en disolventes orgánicos (WMO, 1992) y se trata de un sólido blanco que puede evaporarse en el aire. Es tan altamente tóxico y persistente en el medio ambiente que actualmente su concentración en la atmósfera sigue una tendencia constante sin descenso claro.
- El ϵ -HCH está presente en el HCH técnico en un 3-5%, siendo el isómero del que menos cantidad se obtiene en la síntesis de la cloración del benceno. Se trata de un compuesto muy poco estable en el medioambiente debido a la elevada repulsión estérica que existe entre los átomos de cloro en esta disposición espacial, que le confieren a su vez una mayor inestabilidad térmica.

En la Tabla A9.1 se resumen las propiedades de degradación y estabilidad de los cinco isómeros de HCH.

Tabla A9.1 Comparación de las principales propiedades de los isómeros de HCH

Isómero	Contenido en HCH Técnico (%)	Estabilidad			Volatilidad	Biodegradable
		Agua	Suelo	Atmósfera		
α -HCH	55-70	++	+	+	+	+
β -HCH	3-14	-	++	-	-	-
γ -HCH	6-10	++	-	+	+	+
δ -HCH	11-18	-	-	-	+	+
ϵ -HCH	3-5	-	-	-	-	+

En la Tabla A9.2 se puede comprobar las diferencias existentes en sus principales propiedades físico-químicas. Como se puede apreciar, los isómeros más volátiles son los γ , δ y α , con unos valores de presión



de vapor y constante de Henry mayores que el resto ($4,2\text{-}6,5\cdot 10^{-5}$ mm Hg y 0,13-0,87), por lo que se estima una mayor presencia de éstos en la fase de compuestos orgánicos volátiles existente en el vertedero.

Tabla A9.2. Propiedades físico-químicas de los isómeros de HCH

Isómero	Presión de vapor (mm Hg a 20°C)	Densidad (g/ml)	Degradación (DT50 suelo)	Cte.de Henry (Pa·m ³ /mol)	Solubilidad (g/l)			
					Agua	Metanol	Tolueno	Acetona
α -HCH	$4,5\cdot 10^{-5}$	1,87	20	0,87	0,01	23	90	139
β -HCH	$3,6\cdot 10^{-7}$	1,89	30	0,12	0,005	16	21	103
γ -HCH	$6,5\cdot 10^{-5}$	1,89	3	0,13	0,0073	74	276	435
δ -HCH	$4,2\cdot 10^{-5}$	1,86	-	0,073	0,01	273	416	711
ϵ -HCH	-	1,59	-	-	-	-	-	-

Además, el valor de la solubilidad en agua de β -HCH (5 mg/l) es la mitad que la de los tres isómeros antes citados, próxima a los 10 mg/l, por lo que cabría esperar que el porcentaje de isómero β en el vertedero aumente de forma progresiva con respecto al total de HCH vertido a medida que pase el tiempo, aun teniendo en cuenta que no se produce gran cantidad de éste en el proceso de fabricación de lindano. Esto se debe a que la disposición ecuatorial de los enlaces polares C-Cl que presenta este isómero hace que éstos queden lo más separados posible entre sí en el espacio y queden impedidos axialmente por los enlaces alifáticos C-H de la molécula, lo que se traduce en una mayor dificultad para formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua circundante y, por tanto, en una menor solubilidad en medio acuoso del isómero β con respecto a los otros tres.

A la inversa, se prevé que la concentración de α -HCH, δ -HCH y γ -HCH disminuya con el tiempo por su mayor solubilidad en el agua subterránea que atraviesa el vertedero (GEOCISA, 2010), ya que estas tres moléculas tienen tres cloros en posición axial que son muy accesibles a la hora de formar puentes de hidrógeno con las moléculas de agua. Además, esta disminución se vería favorecida por el hecho de que estas configuraciones espaciales son menos estables energéticamente, lo que posibilita la degradación de los isómeros γ , δ y α por deshidrocloración, con eliminación de moléculas de HCl gas y aromatización del anillo formado por los átomos de C.

La producción de HCH técnico y la posterior síntesis por destilación fraccionada del lindano generan residuos sólidos y líquidos, siendo los líquidos los que, a pesar de generarse en menor cantidad, presentan un mayor impacto medioambiental si no se gestionan de forma adecuada.

Los residuos sólidos están compuestos mayoritariamente por polvo de HCH con isómeros que no son γ -HCH, mientras que los residuos líquidos, también denominados fase libre, están formados por dos fases orgánicas bien diferenciadas:

- Una minoritaria, denominada LNAPL (*Light Non Aqueous Phase Liquid*), menos densa que el agua y que está compuesta fundamentalmente por benceno (B), reactivo inicial en la producción del lindano, y derivados poco clorados tales como el clorobenceno (CB), los diclorobencenos (DCBs) y los triclorobencenos (TCBs). Dada su baja densidad, sobrenada el nivel freático y sus compuestos

son más móviles que en el subsuelo, por lo que se considera de gran impacto en las aguas subterráneas por su alta movilidad en ellas.

- Otra mayoritaria, denominada DNAPL (*Dense Non Aqueous Phase Liquid*), más densa que el agua e inmisible son el agua intersticial del suelo y del lecho rocoso subyacente. Dada su elevada densidad tiende a infiltrarse en el subsuelo y terminar acumulándose sobre las capas más impermeables y en las capas impermeables que estén por encima de éstas. Este líquido es una mezcla compleja de diferentes isómeros de HCH, subproductos del proceso productivo de obtención de lindano (benceno, clorobenzenos) e intermedios de degradación de dichas familias de organoclorados (clorociclohexenos, clorofenoles), siendo la fuente principal de contaminación de las aguas subterráneas en el vertedero de Sardas. Esta fase orgánica contiene tanto compuestos orgánicos volátiles (COV) como semivolátiles (COSV), que son solubles en agua, lo que genera plumas de contaminación en fase disuelta para ambas familias de compuestos.

En la Figura A9.3 se muestra el aspecto que tiene la mezcla de residuos líquidos derivados de la producción de lindano en INQUINOSA, en la que se puede distinguir la fase ligera LNAPL sobrenadante (color beige) de la fase densa DNAPL (color marrón oscuro), esta última con unos contenidos de contaminantes orgánicos generalmente comprendidos entre el 0,1 y el 25% (EMGRISA, 2017).



Figura A9.3. Fracciones ligera (LNALP) y densa (DNALP) en fase libre contaminante

IX.2 Contaminantes presentes en el vertedero de Sardas

En la Tabla A9.3 se aporta una relación de los contaminantes presentes en el vertedero de Sardas clasificados según su tipología.

En el caso de los orgánicos se diferencia entre los volátiles (COV) que están en estado gaseoso a temperatura ambiente o tienen una presión de vapor por encima de 10^{-3} mm Hg (20°C) y los semivolátiles (COSV). Se señala con (x) cuando se ha detectado su presencia en las muestras de suelos, de lixiviados



procedentes de los residuos del vertedero, de aguas superficiales y subterráneas, y en sus sedimentos asociados. Los más importantes en el caso de Sardas por su cuantía y toxicidad son los isómeros del HCH, CB, bencenos, fenoles, clorofenoles, clorociclohexanos y sus respectivas familias.

Tabla A9.3. Contaminantes detectados en muestras de suelos, lixiviados, aguas superficiales y sedimentos de Sardas

Tipo de contaminante		Sustancias	Suelos	Lixiviados	Aguas	Sedimentos	
Orgánicos	COV	Aromáticos no clorados	Benceno	x	x	x	x
			Tolueno	x	x	x	x
			Etilbenceno		x		
			Xilenos		x		
			Fenol		x	x	x
			Cresol				x
		Hidrocarburos clorados	Clorometano			x	
			Diclorometano	x	x		
			Tetracloroetileno		x		
		Clorociclohexanos	Triclorociclohexanos			x	
			Tetraclorociclohexanos	x	x		x
			Pentaclorociclohexanos		x	x	
		Clorobencenos	Clorobenceno	x	x	x	x
			Diclorobencenos	x	x	x	x
			Triclorobencenos	x	x	x	
	Tetraclorobencenos		x	x	x		
	Pentaclorobencenos		x	x	x		
	Monoclorofenol			x	x		
	Clorofenoles	Didorofenoles		x	x		
		Triclorofenoles		x	x		
		Tetraclorofenoles		x	x		
		Pentaclorofenoles			x		
		Naftaleno	x		x		
	COSV	Hidrocarburos poliaromáticos	Antraceno	x			x
			Criseno				x
			Benzo[k]fluoranteno				x
			α-HCH	x	x	x	x
		Clorociclohexanos	β-HCH	x	x	x	x
			γ-HCH	x	x	x	
			δ-HCH	x	x	x	x
			ε-HCH	x		x	x
	Hexaclorociclohexanos		x				
Heptaclorociclohexanos			x				
Hexaclorohexadienos			x	x			
Heptaclorohexadienos			x				
Metales	Arsénico	x		x	x		
	Selenio	x		x	x		
	Estaño	x		x	x		
	Antimonio	x			x		
	Cadmio	x		x	x		
	Cobalto	x			x		
	Cobre	x			x		
	Cromo	x			x		
	Níquel	x			x		
	Plomo	x		x	x		
	Zinc	x		x	x		
	Mercurio	x		x	x		
	Bario			x			
	Vanadio	x			x		
	Berilio						

Esta mezcla tan amplia de sustancias detectadas se debe a que al vertedero de Sardas llegaron contaminantes de procedencia muy variada como los residuos urbanos y domésticos, o los procedentes de actividad industrial y agrícola. Éstos se pueden clasificar en diferentes grupos según la familia a la que



pertenecen: compuestos aromáticos no clorados, hidrocarburos clorados, clorociclohexanos, clorobencenos, clorofenoles, hidrocarburos poliaromáticos y metales pesados.

Gran parte de los contaminantes de fabricación del lindano se encuentran en estado sólido a temperatura ambiente y quedan depositados en la superficie terrestre o sobre el agua del embalse debido a la tensión superficial. Otros forman parte de los residuos en fase líquida, también denominada fase libre (DNAPL + LNAPL). El último grupo lo forman los volátiles en fase gas que, tras pasar a la atmósfera, recorren largas distancias hasta volver a condensar y precipitar a la superficie. En la Tabla A9.4 se aporta una relación de los principales contaminantes de HCH que hay en cada una de estas fases en el vertedero de Sardas, así como la composición porcentual media en peso de la fase gas.

Tabla A9.4. Fases en las que se presentan los contaminantes en el vertedero de Sardas

Contaminante	Estado sólido	DNAPL	LNAPL	COV (%)
α -HCH	x	x		2,9
β -HCH	x	x		0,2
γ -HCH (lindano)	x	x		7,4
δ -HCH	x	x		5,9
ϵ -HCH	x	x		1,6
Benceno			x	1,5
Clorobenceno		x	x	18,7
Fenol	x	x		<0,1
Naftaleno	x			*
Antraceno	x			
Fluoranteno	x			*
Clorofenol	x	x		<0,1
Diclorometano			x	*
Clorociclohexano			x	
Pireno	x			*
Zinc	x			
Benzo (a) antraceno	x			
Benzo (a) pireno	x			
Benzo (b) fluoranteno	x			
Arsénico	x			
Tolueno			x	
Diclorobenceno	x	x	x	5,4
Triclorobenceno	x	x		3,1
Tetraclorobenceno	x	x		1,9
Pentaclorobenceno	x	x		0,2
Heptaclorociclohexano	x	x		1,2
Pentaclorociclohexeno		x		8,0
Hexaclorociclohexeno		x		18,6
* No hay datos disponibles				

Los mayores espesores de residuos coinciden con las zonas de las cárcavas, con un máximo de potencia de 37 m en el punto de bombeo 9000000139 (S-39B) del vertedero y de 5,8 m en el sondeo piezométrico 9000000107 (PS7C), ambos cerca de la cárcava norte.

En la Figura A9.4 se presentan los volúmenes totales anuales y acumulados de DNAPL extraídos mediante bombeo neumático desde que comenzara esta labor en 2010. Parece que la cantidad recuperada tiende a disminuir desde 2016, año en que su extracción fue la más productiva con casi 2 m³ de fase densa.

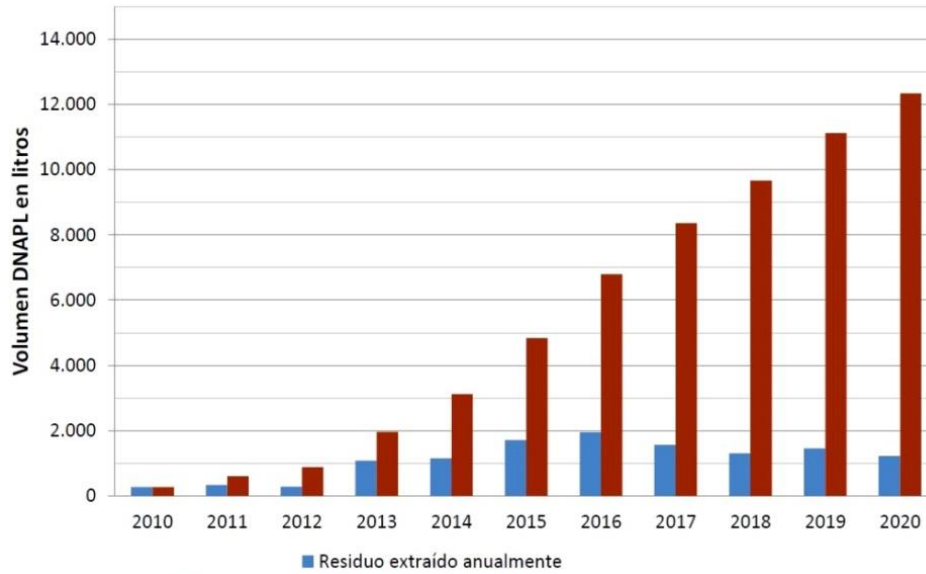


Figura A9.4. Cantidad de DNAPL recuperada en Sardas

En la Tabla A9.5 se aportan los volúmenes de purgado de DNAPL correspondientes a la campaña de 2019, la última de la que se dispone de estos datos, tanto en los puntos fijos como provisionales que conforman la red de bombeo de fase densa, representados en color azul en la Figura A9.5 (EMGRISA, 2019), destacando en color naranja los sondeos con una recuperación de DNAPL mayor que la media (50 l/año).

Tabla A9.5. Puntos de bombeo y volúmenes de DNAPL recuperados en Sardas en 2019 (EMGRISA, 2019)

Zona	Sondeo	Denominación	Punto en red de bombeo	DNAPL recuperado (l)
Vertedero	9000000139	S39B	Fijo	30
	9000000140	S39C	Fijo	0
	9000000141	S39D	Fijo	10
	9000000142	S39E	Fijo	60
	9000000143	S39F	Fijo	175
	9000000144	S39G	Fijo	25
	9000000145	S39H	Fijo	85
	9000000146	S39I	Fijo	145
Pantalla	9000000059	PS23	Red	335
Aluvial de fondo de valle	9000000044	PS8	Fijo	45
	9000000050	PS14	Red	10
	9000000174	PS14B	Provisional	20
	9000000175	PS14C	Provisional	70
	9000000176	PS14D	Red	15
	9000000180	PS14E	Provisional	10
	9000000181	PS14F	Provisional	10
	9000000182	PS14G	Provisional	0
	9000000183	PS14H	Provisional	0
	9000000184	PS14I	Provisional	10
	9000000185	PS14J	Provisional	0
	9000000186	PS14K	Provisional	0
	9000000187	PS14L	Provisional	0
	9000000051	PS15	Red	95

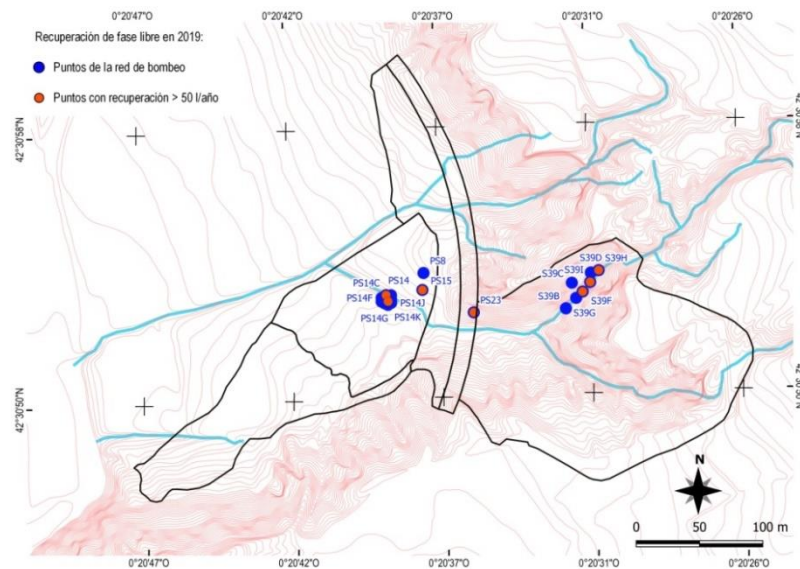


Figura A9.5. Localización de puntos de bombeo de DNAPL más productivos en Sardas durante 2019. Orografía y vertientes previas a la construcción del vertedero

En ese año se desconectaron de la red de bombeo por bajo rendimiento de extracción de DNAPL los sondeos de las parcelas al pie del vertedero de Sardas, 9000000041 (PS5) y 9000000057 (PS21), ambos cercanos al sondeo PS14C situados sobre la vertiente original de la cárcava norte. Por tanto, en esos puntos solo habría DNAPL residual, es decir, una pequeña fracción de la fase densa que quedaría atrapada en los poros en forma de gotas sin continuidad alguna, de manera que no se podría recuperar ni siquiera por bombeo, ya que su presión capilar es insuficiente para superar la presión de entrada en los poros del medio edáfico, desplazando por tanto al agua (presión capilar) o al aire (tensión capilar) contenidos en éstos y permaneciendo inmóvil.

Los sondeos con mayor recuperación de DNAPL están situados en dicha vertiente, y son el vertedero (S39E y S39F) y la zona de la pantalla (PS23). Esto indica que ambas zonas pueden ser la principal fuente de contaminación de fase densa, que por componente vertical tendería de forma preferente a ocupar los fondos de los medios más permeables (capa de vertidos) dispuestos sobre o en el interior de los menos permeables (margas). También tendría una componente secundaria horizontal en la zona de rellenos por empuje del DNALP con el agua subterránea que fluye principalmente por la cárcava norte hacia el acuífero, siempre y cuando dicho empuje supere la presión capilar necesaria para ello.

El LNAPL sufriría un transporte vertical preferente por flotación sobre el nivel piezométrico, que en el vertedero está situado en los rellenos, proceso que se vería favorecido por la elevada porosidad de estos materiales, y una migración en forma de gas de los COV que la componen hacia la parte superior del vertedero buscando puntos de fuga por la presencia de la geomembrana en techo, volatilización que aumenta considerablemente con pequeños incrementos de temperatura, tal y como ocurre en la época estival, facilitando a su vez la disolución en el agua subterránea de este tipo de contaminantes.

En 2017 se realizó un estudio con objeto de determinar la composición química del DNAPL en el vertedero de Sardas, para lo cual se tomaron siete muestras de fase densa recuperadas por bombeo en seis sondeos diferentes (EMGRISA, 2017). La localización de estos puntos de muestreo, destacados en color azul en la

Figura A9.6, fue la siguiente: cuatro situados en la parte superior del vertedero (9000000145, 9000000144, 9000000146, 9000000143) denominados como S39H, S39G, S39I y S39F, alienados en dirección NE-SE cerca de la cárcava que lo limita por su lado norte; y otros dos en la parte inferior de las parcelas al pie del vertedero de Sardas (900000051, 900000059), denominados como PS125 y PS23. De los 2 últimos, el primero aguas abajo de la pantalla de bentonita que separa el vertedero de la carretera N-330 E-7 y contiguo a la cárcava; el segundo, próximo al punto anterior, pero en el pie de la formación aluvial de fondo de valle.

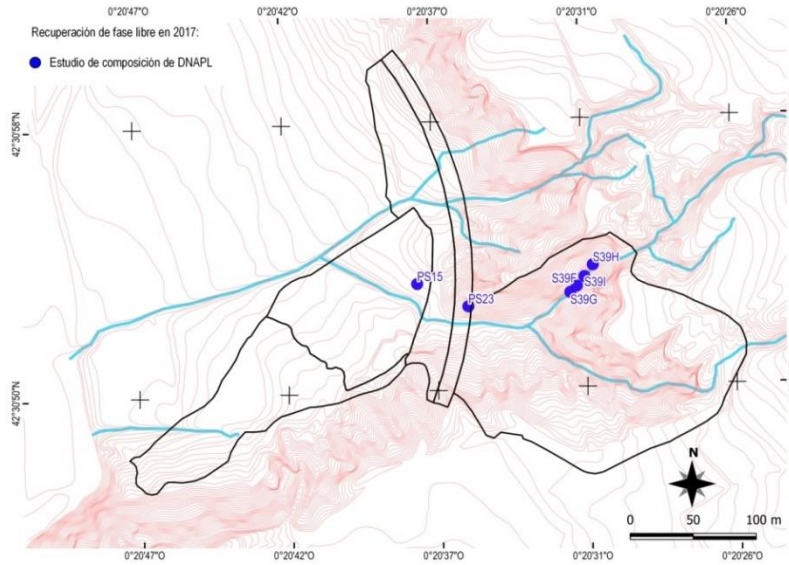


Figura A9.6. Puntos de bombeo en Sardas del DNAPL estudiados en 2017. Orografía y vertientes previas a su construcción

Las determinaciones se realizaron por triplicado mediante la técnica CG-FID/EC, obteniendo una diferencia inferior al 10% entre los valores obtenidos para una misma muestra. De los compuestos identificados se obtuvieron unas recuperaciones del 85-90 % del total de masa de muestra, pudiendo ser el resto agua o error en el análisis. En la Tabla A9.6 se aportan los resultados promedio obtenidos en estos análisis expresados como porcentaje en peso de la suma de los cinco isómeros HCH y de otras familias de compuestos encontrados en el DNAPL, destacando en color azul los correspondientes a los puntos de bombeo aguas arriba de la pantalla y en color rojo-naranja los de aguas abajo.

Tabla A9.6. Composición de las muestras de DNAPL estudiadas

Contaminante	Contenido en DNAPL recuperado en el sondeo (%)						
	S39H	S39G	S39I	S39F	PS15 (Oct-16)	PS15	PS23
a-HCH	4,20	4,92	4,22	4,56	2,86	3,77	3,57
b-HCH	0,07	0,03	0,03	0,02	0,08	0,07	0,07
g-HCH	13,0	14,9	14,3	14,6	8,37	11,4	11,9
δ-HCH	11,9	13,1	12,3	12,7	1,73	6,08	6,06
ε-HCH	1,71	1,82	1,82	1,82	0,71	1,22	1,19
∑ HCH	30,9	34,7	32,6	33,8	13,7	22,5	22,8
∑ Heptaclorociclohexanos	31,4	29,6	27,3	31,4	7,3	17,2	13,4
∑ Pentaclorociclohexenos	5,3	7,2	4,9	7,1	2,4	4,2	5,4
∑ Clorofenoles	0,40	0,32	0,30	0,32	0,03	0,10	0,18
∑ Clorobencenos	30,4	27,0	34,3	26,8	75,8	54,9	57,7

De acuerdo con estos resultados, se puede comprobar que la composición de la fase densa presente en el vertedero de Sardas varía según su ubicación en el vertedero, independientemente de los procesos de degradación que ésta pueda sufrir en su interior y del residuo original del que proceda.

En la Figura A9.7 se observan los dos tipos de composición de DNAPL bien diferenciados en el vertedero de Sardas: los que están en el vertedero, con composición similar al DNAPL recuperado en el vertedero de Bailín, y los que están aguas abajo de la pantalla de bentonita y en el aluvial de fondo de valle, que tienen un contenido significativamente menor de HCH, heptaCBs y pentaCBs y, en consecuencia, uno mucho mayor de clorobencenos (mono, di y tri) que los de Bailín.

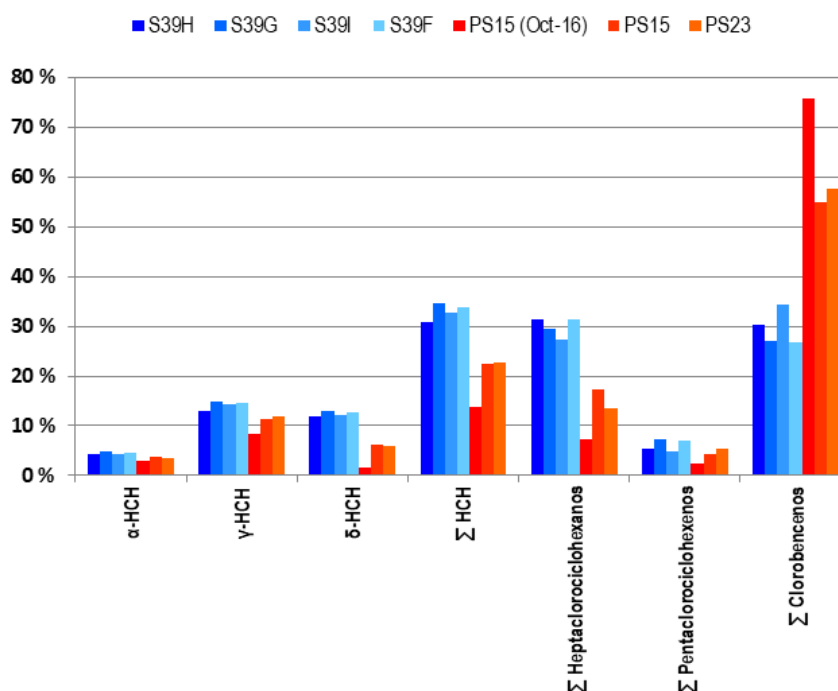


Figura A9.7. Tipología de las muestras de DNAPL estudiadas

Este paso de HCH a TCBs y de heptaCBs a tetraCBs observado en los sondeos PS15 y PS23 se debe a las condiciones imperantes en el aluvial, con un pH más básico al resto que provocaría una dechloración mediante hidrólisis alcalina del DNAPL (Guadaño y Gómez, 2016), con el consecuente aligeramiento de esta fase densa.

IX.3 Propiedades físico-químicas de las fases DNAPL y LNAPL de Sardas

Se ha encontrado poca información documentada sobre las propiedades físico-químicas más significativas de las fases DNAPL y LNAPL de Sardas, tales como su solubilidad en agua, coeficientes de distribución, constantes de Henry y de presión de vapor, densidad, viscosidad, ángulo de contacto, capilaridad y tensión interfacial con materiales similares a los que conforman los diferentes estratos geológicos existentes en el vertedero (limos arcillosos, gravas y margas). Muchos de los parámetros antedichos son indispensables para abordar la migración de contaminantes desde el marco conceptual de flujo multifase por las razones que a continuación se exponen:



- La densidad determina la zona de transporte del contaminante en el agua, ya sea flotando en su superficie si es inferior a la del agua (aprox. 1g/l) o percolando por debajo de ella si supera dicho valor, y se desprecia el efecto de la presión capilar.
- La solubilidad condiciona la cantidad de contaminante movilizada por disolución en agua, que es mayor a medida que aumenta dicho parámetro. Varía con la temperatura mediante una ley logarítmica, y en la mayoría de los casos aumenta con el incremento de la temperatura. En el caso del lindano, de acuerdo con su ficha técnica (CAS: 58-89-9, 2021), su solubilidad aumenta de 7,3 mg/l a 25°C a 12 mg/l a 35°C, y prácticamente se duplica a 45°C (14 mg/l).
- La presión de vapor condiciona la cantidad movilizada por evaporación en forma de gas, proceso que cobra mayor importancia cuando esta supera un valor de 10^{-3} mm Hg (20°C).
- La constante de Henry condiciona la cantidad movilizada por volatilización, es decir, su tendencia a abandonar el agua y migrar a la atmósfera, que es más importante cuanto mayor sea de 10^{-5} atm·m³/mol.
- La densidad de vapor determina la zona de transporte del gas contaminante en la atmósfera, ya que un valor mayor a 1 g/l indica que es más pesado que el aire y tenderá a descender hacia el suelo y viceversa. La presión de vapor relativa del HCH respecto a la del aire es de 10, por lo que se trata de un vapor relativamente pesado.
- El coeficiente de adsorción K_{oc} condiciona la afinidad del contaminante por un suelo, con una fugacidad mayor hacia éste a medida que aumenta su valor. Multiplicado por la fracción de carbono orgánico en el suelo (f_{oc}) permite obtener su coeficiente de distribución en el medio edáfico (K_d), con un valor en Sardas para los HCH de 40,5 l/kg para un K_{oc} calculado de 1 350 l/kg y una f_{oc} estimada en 0,03 (EMGRISA, 2018b).
- El coeficiente de partición K_{ow} , condiciona el reparto del contaminante en un medio orgánico (disolventes, tejidos adiposos en fauna, etc.), y generalmente se expresa respecto a su partición en una mezcla bifásica inmiscible de n-octanol como fase apolar y agua como fase polar. El valor de K_d para los HCH en Sardas es de 32,1 l/kg, calculado a partir un K_{ow} de 1070 l/kg y del valor estimado de f_{oc} de 0,03 (EMGRISA 2018b).
- La tensión interfacial producida por las tensiones existentes en las interfaces entre el contaminante líquido, el agua, así como el medio poroso que los contiene. Se trata de fenómenos fuertemente histeréticos, de modo que la "historia" de mojado del medio poroso también condiciona la forma en que ambas fases entran en contacto entre sí y con el esqueleto sólido. En caso de que sea elevada, superior a 50 dinas/cm, se requieren agentes surfactantes que rebajen dicha tensión y permitan la mezcla espontánea de ambos líquidos, soliendo requerir de energía mecánica adicional para romper el líquido suelto en películas delgadas de cada burbuja de gas. Nótese que en tanto coexistan las dos sustancias, rigen los conceptos de permeabilidades relativas (del agua, por un lado y de la fase libre por otro). En contactos líquido-gas pasa a denominarse tensión superficial, empleado en el ámbito de la mecánica de los suelos no saturados.
- Cabría citar otros parámetros como la viscosidad relativa, el cual condiciona la dinámica general de los fluidos, pues influye en la permeabilidad intrínseca, así como en el modo en que uno desplaza al otro, con riesgo de "fingering".

En la Tabla A9.7 se aporta un resumen de datos bibliográficos tabulados para algunos de sus componentes por separado, especialmente para los que tienen un grado de cloración inferior a la del HCH (ARC, 2014).

Tabla A9.7. Propiedades fisicoquímicas de COV presentes en la fase libre

Contaminante	Densidad (g/ml)	Solubilidad en agua (mg/l)	P _{vapor} (mm Hg)	Cte. Henry (atm·m ³ /mol)	Densidad de vapor (g/l)	Log K _{oc}	Log K _{ow}	Tensión interfacial DNALP-agua (dina/cm)
Benceno	0,876	1790	95	5,55E-03	-	2,22	2,22	-
Clorobenceno	1,106	500	9	4,45E-03	4,6	1,68	2,84	37,4
1,4-Diclorobenceno	1,231	81	-	2,41E-03	-	2,63	2,64	-
2-clorofenol	1,263	2850	1,4	8,28E-06	5,3	2,56	2,16	-
1,3-Diclorobenceno	1,288	111	2,3	2,63E-03	6,0	2,23	3,38	-
1,2-Diclorobenceno	1,305	100	1	1,90E-03	6,0	2,27	3,40	40,0
1,2,4-Triclorobenceno	1,454	19	0,4	2,32E-03	7,4	3,98	4,02	-
1,2,4,5-Tetraclorobenceno	1,83	0,6	-	1,32E-03	-	3,00	3,07	-
Tetraclorociclohexeno	1,87	43	-	1,81E-03	-	3,08	3,08	-
Pentaclorociclohexeno	1,88	11	-	1,30E-03	-	3,30	3,30	-

No obstante, debe tenerse en cuenta que el estudio de la movilidad de las fases LNAPL y DNAPL y de su pluma contaminante es más complejo que el propio de sus componentes por separado, ya que la solubilidad de unos en otros condiciona de forma muy significativa las propiedades fisicoquímicas de la mezcla. Así, los valores antes tabulados solo tienen un carácter orientativo para este tipo de estudios, en los que se debe abordar la compleja interacción e interdependencia de parámetros de los dos medios fluidos y del esqueleto sólido.

Por otro lado, la complejidad de definir un modelo de transporte de contaminantes en el vertedero de Sardas es mayor aún al requerir incorporar fundamentos de flujo en medios multifásicos (permeabilidad relativa, tensión interfacial, humedades residuales, función de presión capilar, etc.). En la Figura A9.8 se ilustran los tres tipos de movilidad del DNAPL en función de su grado de saturación y continuidad en el terreno: móvil, potencialmente móvil e inmóvil, o residual. Al CEDEX no le consta la existencia de trabajos de investigación específicos para el vertedero de Sardas que se detengan en estas cuestiones y que, al menos cualitativamente, lo incorporen a un modelo o marco conceptual de flujo. El estudio del CEDEX no ha sido exhaustivo en el caso de los trabajos asociados a las técnicas de remediación de la contaminación, donde pueden haberse abordado estos detalles, pero no se ha encontrado referencia a su aplicación a los modelos conceptuales y numéricos de transporte de contaminantes en el vertedero de Sardas ni en el acuífero y los limos semiconfinantes afectados.

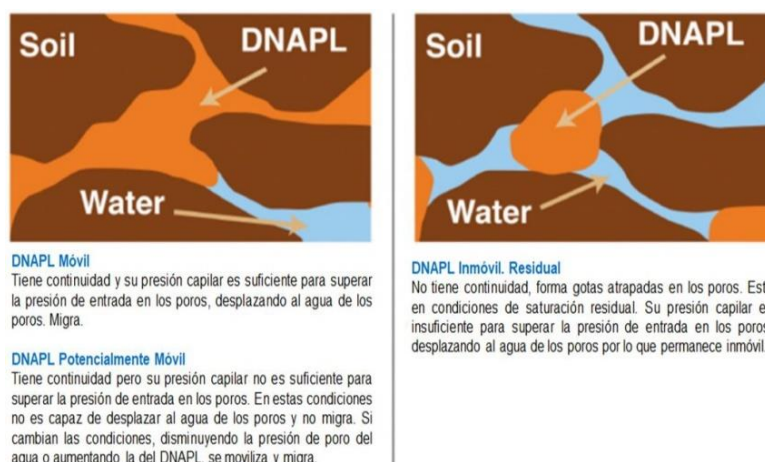


Figura A9.8. Tipología de fase densa DNAPL en función de su movilidad en los poros del terreno



En el Anejos X y XI se aborda la caracterización de la contaminación en suelos y aguas subterráneas y superficiales del entorno del vertedero de Sardas que se ha producido, total o parcialmente, por la migración de la fuente de contaminación líquida concentrada y menos móvil en el interior del vertedero. Estos contaminantes que entran en la denominación de DNAPL se concentran en su base y penetran en las discontinuidades de su sustrato. Por otro lado, las aguas subterráneas que se infiltran en el vertedero fluyen de ese mismo modo y constituyen el principal agente portador y movilizador de la pluma de contaminación.

IX.4 Vías de degradación de residuos de HCH

Una vez expuestas las definiciones básicas sobre los residuos sólidos y líquidos de HCH, a continuación se resumen sus principales vías de degradación natural, ya sea mediante vía abiótica, gobernada por procesos físico-químicos (fotólisis e hidrólisis), como biótica, regida por procesos biológicos con la actuación de enzimas de origen microbiano, fúngico o vegetal (Calvelo, 2008), que permiten su disminución en el vertedero de Sardas por otras vías distintas diferentes a la de volatilización, más propia de los COV que componen la fase ligera LNAPL. Se pueden resumir en cuatro vías diferentes:

- Fotólisis: el HCH sufre pérdida de cloro tras recibir energía de radiación ultravioleta suficiente. El lindano y su familia de compuestos presentan una gran estabilidad frente a la fotólisis acuosa, incluso a pH igual a 5, debido a que carecen de grupos cromóforos, razón por la que no absorben suficiente energía. Sin embargo, a pesar de que la fotólisis del γ -HCH en estado sólido se dé con gran facilidad, requiere que el material tenga exposición directa a la luz solar, por lo que esta vía es inviable en el vertedero, ya que están soterrados.
- Hidrólisis: en medios fuertemente reductores, el HCH sufre la sustitución de cloros por grupos hidroxilo (-OH) por haloeliminación, es decir, con la pérdida de átomos de cloro vecinos en forma de cloro gas, que deriva en la formación de compuestos tales como el tetra y pentaclorociclohexeno (pentaCB), bencenos clorados y polifenoles, contaminantes que se encuentran presentes tanto en los lixiviados procedentes del vertedero como en las aguas contaminadas con éstos. Este proceso se ve catalizado en medio alcalino con pH por encima de 9 o, en menor grado, en medio ácido (Willet et al., 1998). En medio neutro tamponado es irrelevante, tal y como ocurre en aguas dulces o en el terreno natural del entorno del vertedero de Sardas, cuyo pH está comprendido entre 6,5 y 8,5. Sin embargo, en el propio vertedero se dan condiciones muy propicias para esta descomposición, ya que la presencia de vertidos de sosa aporta un pH muy alcalino a los vertidos, tal y como se pudo comprobar en los lixiviados recogidos en el vertedero, que necesitan de un tratamiento de neutralización con ácido antes de ser transvasados a las balsas situadas al pie del vertedero.
- Degradación Biótica Aeróbica: las principales transformaciones biológicas sufridas por el HCH en condiciones oxidativas son la deshalogenación reductiva (con reemplazo de un átomo de cloro por uno de hidrógeno y dos electrones) para generar pentaCB, la dehidrohalogenación, con pérdida de un átomo de halógeno y otro de hidrógeno para generar tetraclorociclohexeno (tetraCB) y la deshalogenación del HCH y sus compuestos derivados, con la obtención lateral de bencenos menos clorados y de compuestos fenólicos. Todos los isómeros pueden sufrir degradación completa por mineralización total a CO_2 (g) en presencia de gran cantidad de microorganismos, bacterias y hongos existentes en el medio edáfico contaminado, generando en este caso H_2O (g), H_2O y HCl (ac.), siendo el γ -HCH el que sufre este proceso con mayor facilidad.



- Degradación Biótica Anaeróbica: las transformaciones del HCH en ausencia de oxígeno son termodinámicamente más favorables, por lo que resultan más eficientes incluso en medio acuoso, llegándose a liberar metano en estos procesos en lugar de CO₂ (g). No obstante, incluso en este caso la velocidad de evaporación de los COV sigue siendo mayor a la de su degradación química y biológica, por lo que su destino final es la atmósfera. Se ha comprobado que la población autóctona bacteriana es preferente a la hora de descomponer los contaminantes existentes en el entorno de los vertederos de Sardas y Bailín, tanto si la degradación biótica es aeróbica como anaeróbica.

La temperatura, el pH y el contenido de limos del suelo desempeñan un papel fundamental en todos estos procesos de degradación de residuos de HCH, tanto en aguas superficiales y subterráneas como en el propio terreno, tal y como se cita a continuación:

- A pH neutro entre 7 y 8 el lindano puede degradarse en un amplio rango de subproductos, pero con una cinética mucho más lenta que a un pH de 9, valor óptimo en la mayor parte de los casos para el crecimiento y biodegradación del lindano, de manera que su vida media en lodos del suelo a pH de 7,4 es de 936 h, mientras que a pH 9 es hasta 10 veces menor (90 h). En cambio, a pH ligeramente ácido (entre 5 y 7) el lindano es muy estable y apenas se degrada, siendo en este caso la atmósfera su destino final tras previa disolución en agua o evaporación directa.
- La temperatura ambiente óptima para la eliminación máxima de lindano es de 30-35°C, a la que se libera más cloro y, por tanto, mayor degradación de los isómeros del HCH, especialmente en medios biológicos (Benimeli et al, 2007). A temperaturas inferiores, más propias del interior del vertedero, es mucho más estable, llegándose a duplicar su vida media a 5°C, mientras que es difícil encontrar temperaturas ambientales superiores a 35°C incluso en el interior del vertedero.
- Un mayor contenido de limo en el suelo da como resultado una mayor retención de la humedad y, por tanto, mejora la retención del lindano. En suelos con mayor contenido de arcilla se produce una mayor adsorción de contaminantes, al quedar éstos inmovilizados por la interacción electrostática entre los cloros de la molécula con los cationes de intercambio presentes en la superficie de las partículas de arcilla. Además, su durabilidad en el sustrato aumenta a medida que lo hace la salinidad del suelo, ya que así también se generan atracciones electrostáticas entre los iones salinos del terreno y los cloros del lindano.

Aunque la principal atenuante de la concentración de contaminantes orgánicos pesados como el lindano es la adsorción sobre las partículas más pequeñas del suelo (arcillas y limos), este proceso es reversible y transitorio, de acuerdo con la función isoterma de Freundlich, ya que cuando la concentración del agua es menor que la de equilibrio, los lodos desorben los contaminantes. Una vez que éstos vuelven al agua, el proceso que actúa es la evaporación, aunque su tasa sea baja, dada su gran persistencia y baja degradabilidad en este medio.

Respecto a los residuos líquidos, la fase LNAPL es más propensa a la degradación microbiana tanto oxidativa como anóxida al ser más móvil, mientras que la DNAPL tiene una velocidad de descomposición extraordinariamente más lenta que la propia del lindano, dada su baja movilidad y su enorme carga en contaminantes orgánicos pesados. Por ello su degradación ocurre preferentemente y de forma indirecta en las aguas subterráneas y en los finos de los suelos que hayan estado en contacto con la fase densa.



Es poco frecuente encontrar grandes columnas de sustancias químicas no cloradas disueltas en aguas subterráneas (p. ej. benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos) en comparación con los disolventes clorados, ya que éstas no penetran casi apenas por debajo del nivel piezométrico y son propensas a sufrir una mayor migración a la atmósfera por volatilización, o una degradación microbiana con tiempos cortos de semidegradación, inferiores a 180 y 360 días en el terreno o en aguas superficiales, respectivamente. Es por ello por lo que tales sustancias presentan un impacto contaminante mucho menor en las aguas subterráneas que el resto de los contaminantes presentes en la fase libre.

En la Tabla A9.8 se da una relación de los principales compuestos generados en la degradación de los isómeros de HCH y los principales COV asociados a la producción de lindano.

Tabla A9.8. Productos principales de la degradación de isómeros HCH y volátiles

Contaminante	Contaminantes secundarios (productos de degradación)
α -HCH	<u>Declaración</u> : Tetraclorociclohexano (en presencia de CH ₄ se forma diclorofenol, triclorofenol, clorobenceno y benceno).
	<u>Deshidrocloración</u> : Pentaclorociclohexano, que al ser inestable deriva en di, tri y tetraclorobenceno.
β -HCH	Se degrada muy lentamente (es el isómero HCH más estable)
	<u>Biodegradación anaeróbica</u> : Declaración de hasta el 60% en presencia de CH ₄ .
	Puede ser mineralizado completamente hasta CO ₂ y H ₂ O.
γ -HCH	<u>Degradación</u> : Pentaclorociclohexano y triclorobencenos.
	<u>Isomerización</u> : Triclorofenoles, tetraclorofenoles, heptaclorociclohexano.
δ -HCH	Degradación de forma similar al γ -HCH, pero de forma mucho más lenta.
Clorobenceno	<u>Biodegradación</u> : 2-Clorofenol, 4-clorofenol.
Tetraclorobenceno	Se degrada fácilmente a 2,4,5-triclorofenol.



ANEXO X ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN RELLENOS Y LIMOS

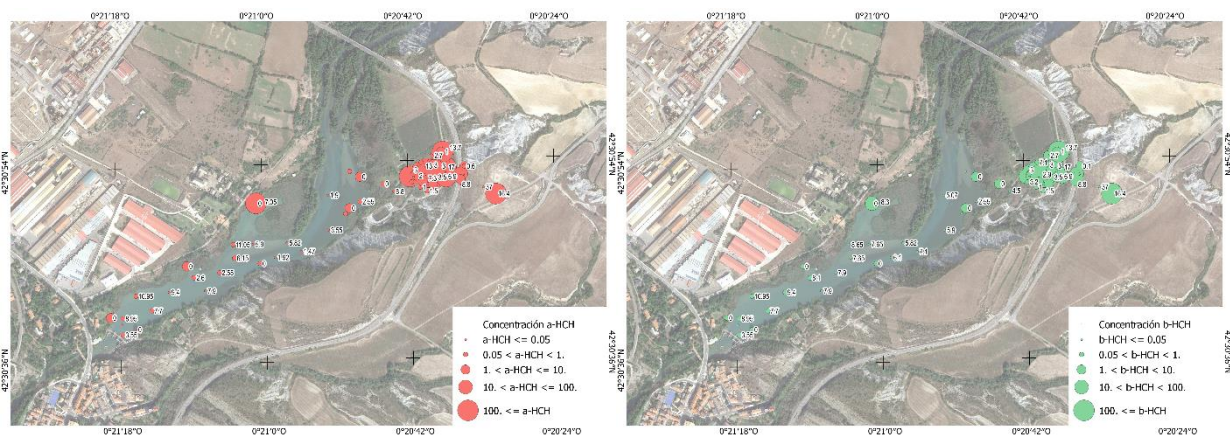


CEDEX

ANEXO X ESTADO DE LA CONTAMINACIÓN EN RELLENOS Y LIMOS

La Figura A10.1 muestra mapas de las concentraciones máximas de muestras de sondeos en limos y rellenos sobre la parcela al pie del vertedero de los 5 isómeros principales del HCH. La representación abarca los residuos del propio vertedero, pero no incluye los datos de las catas más superficiales realizadas sobre los limos de la terraza inferior de esta parcela, que se interpretan en el cuerpo principal del informe. Las concentraciones se expresan por medio de círculos cuyo tamaño se relaciona con la concentración. Además, cada dato se acompaña de la profundidad de medida de ese máximo, lo que se puede utilizar para entender las diferencias que se dan entre puntos cercanos, pero cuya profundidad de muestreo es distinta. No obstante, debido a las diferentes fechas del muestreo de cada sondeo y a que las concentraciones cambian a lo largo del tiempo, no se puede ofrecer una foto fija. Debe considerarse también que los datos analíticos no proceden de la misma fuente, aunque la gran mayoría han sido realizadas por el GA y EMGRISA (en el vertedero y en las parcelas a su pie) y por la CHE y GEOCISA (en el vaso del embalse).

De acuerdo con la Figura A10.1, los focos de contaminación alrededor del embalse de Sabiñánigo se habrían situado en el vertedero de Sardas, en las parcelas a su pie y en la propia fábrica de INQUINOSA. La conexión de ambos focos con el embalse se ubicaría en el meandro del Gállego, en margen izquierda del embalse (primer foco) y en el brazo interior de margen derecha contiguo a la fábrica de INQUINOSA (segundo foco). Las concentraciones encontradas en el vaso del embalse son inferiores a las de los focos donde los isómeros α y γ son aparentemente los de mayor presencia y ϵ el de menor.



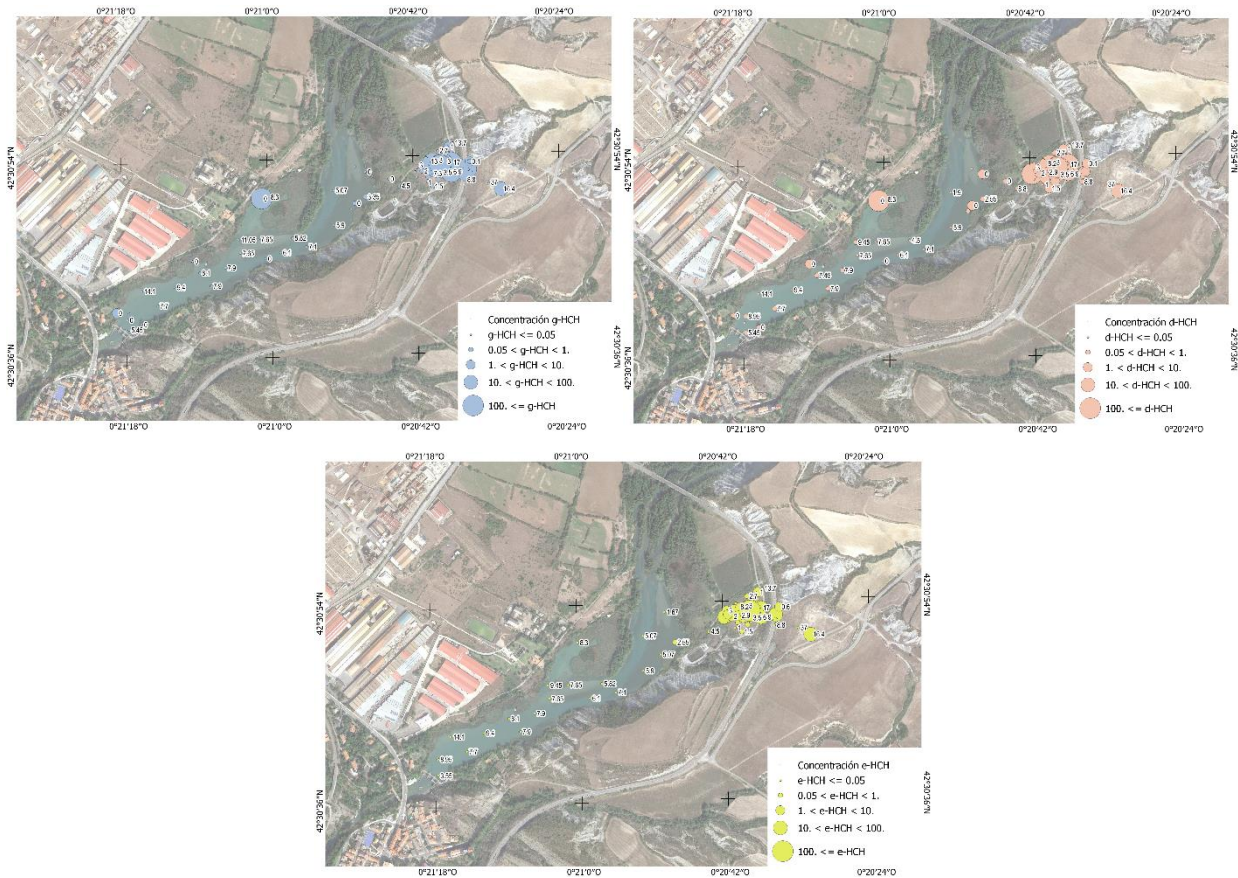


Figura A10.1. Concentración (mg/kg) y profundidad de muestreo de los isómeros del HCH en limos y rellenos de Sardas y embalse de Sabiñánigo

La distribución vertical de fase libre contaminante obedece a un mecanismo complejo de transporte en las parcelas al pie del vertedero de Sardas, entre las diferentes capas de material limo arcilloso semiconfinante, aluvial y margas, de tal manera que se daría la siguiente casuística:

- La fase DNAPL tendría un comportamiento similar en el vertedero que en las parcelas su pie, aunque en estas últimas podría tardar más en alcanzar la marga al tener que atravesar la capa de limos arcillosos que, dado el pequeño tamaño de poros y las elevadas potencias de este material en dicha zona (de hasta 12 m en algunos puntos), dificultaría la percolación por gravedad de la fase contaminante densa entre sus partículas.
- Esta dificultad se ve incrementada por el hecho de que la capa semiconfinante estaría no saturada en su tramo más superficial, ya que el nivel piezométrico (N.P.) en las parcelas al pie del vertedero de Sardas oscila entre la capa de aluviales y los 2-3 m más profundos de la capa semiconfinante, dependiendo principalmente de la actividad del embalse, con una carrera diaria de N.P. de 1 m, y la pluviometría local, de manera que el desplazamiento vertical del DNAPL en dicha capa no se vería favorecido por un flujo de agua descendente.
- No obstante, los datos confirman elevados contenidos de fase densa en las capas de aluviales y de margas, por lo que el DNAPL ha conseguido circular por gravedad a través de la capa de aluviales de alta permeabilidad hidráulica y gran tamaño de poros, hasta llegar al muro en la marga, quedando

depositado en parte en la superficie de las partículas de áridos y gruesos del aluvial y en la interfase de éstos con las margas, y penetrando en otra parte fácilmente en la zona alterada (primeros metros) y fisurada de las margas.

- La fase LNALP en las parcelas al pie del vertedero de Sardas tendería principalmente a flotar en el N.P. y acompañarlo en su recorrido vertical, o a ascender en la capa semiconfinante por migración de los gases de COV que la componen, sobre todo a pH alcalinos mayores a 9 que provoquen la dispersión de las partículas de arcilla por fenómenos de repulsión borde-borde y, por tanto, la creación de canales por turificación que favorezcan la ascensión del LNALP por dicha capa. En estas capas también se podría dar el movimiento horizontal del DNAPL por empuje del agua que circula por el terreno.

A modo ilustrativo, en la Figura A10.2 se muestra un esquema extraído del trabajo de Rivett et al. (2011) en la que se ilustran los distintos mecanismos de movilización de contaminantes que pueden darse por encima del nivel piezométrico a partir de un vertido somero de COV con fase ligera LNALP.

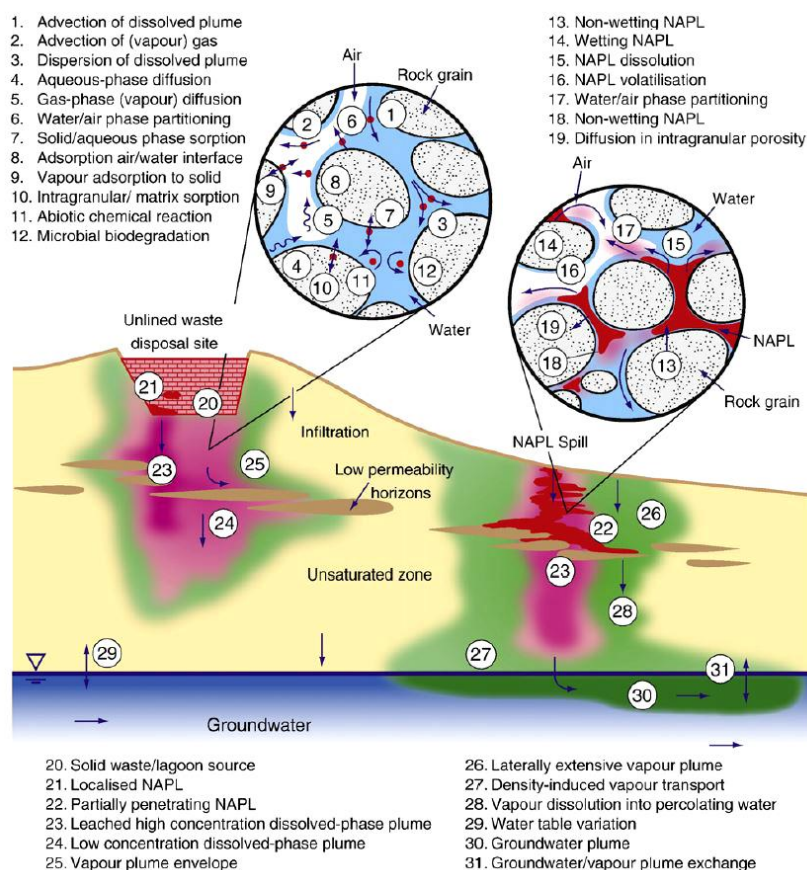


Figura A10.2. Modelo conceptual de contaminación por vertido de COV con fase libre LNALP (Rivett et al., 2011)

La disolución acuosa de HCH en el terreno puede ocurrir en profundidad (lixiviación) o en superficie (escorrentía). El lixiviado depende de la polaridad y solubilidad acuosa del compuesto, de la permeabilidad, tamaño de partícula y textura del suelo, de la temperatura y pluviometría de la zona, y de la presencia de

COV procedentes de la fase libre, quizás el factor más importante para la disolución de los HCH. La escorrentía en cambio depende de la humedad del suelo, la cantidad y frecuencia de las precipitaciones y la capacidad de retención del agua que hay en el suelo. Ésta en principio solo se daría en las parcelas al pie del vertedero de Sardas, ya que el propio vertedero está recubierto con una lámina PEAD con cobertura arenosa de entre 0,6 y 2,2 m.

En cuanto al transporte vertical de volátiles en las parcelas al pie del vertedero de Sardas, en la Figura A10.3 se han representado en el curso de este encargo los perfiles de concentración de COV obtenidos a partir de los datos de análisis en laboratorio de los testigos de varios sondeos realizados en esa zona: tres de la campaña de sondeos de 2018, 9000000174 (PS14B), 9000000175 (PS14C) y 9000000176 (PS14D), y dos de la campaña de 2019, 9000000180 (PS14E) y 9000000181 (PS14F).

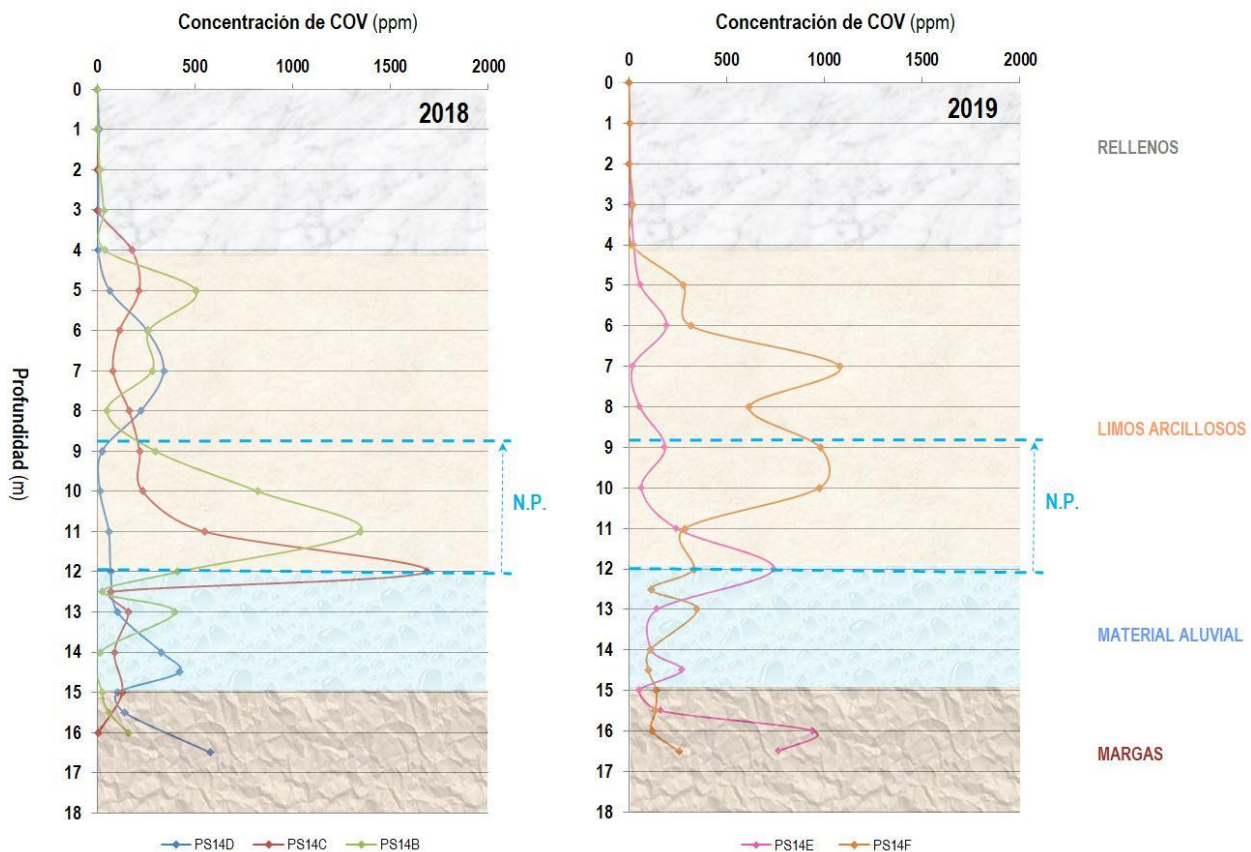


Figura A10.3. Ejemplos de evolución vertical de COV en el aluvial de fondo de valle de las parcelas al pie del vertedero de Sardas

Se comprueba como la concentración máxima de COV tiende a situarse en entre la capa semiconfinante y el material aluvial (PS14B, PS14C y PS14E), pudiendo penetrar con el N.P. en los primeros metros de limos arcillosos desde el techo del aluvial (PS14B y PS14F). También pueden sufrir volatilización y migrar a niveles superiores en la capa semiconfinante (PS14D y PS14E) o bien estar contenidos en la fase densa y quedar contenidos en la zona próxima a la interfase entre marga y aluvial (PS14D y PS14E).



Estos datos están recogidos en el Anejo V, donde también se incluye el reconocimiento organoléptico por olor a disolvente de los testigos recién extraídos, y por la presencia “de visu” de gotas de DNAPL en zonas cercanas a la marga (sondeos PS14D y PS14E). No obstante, la detección olfativa no es del todo fiable ya que los olores a volátiles son muy intensos y pueden saturar fácilmente la pituitaria, distorsionando por defecto la capacidad de reconocimiento del sondista. Por tanto, se recomienda la determinación de COV en laboratorio, teniendo en cuenta que las muestras deben mantenerse refrigeradas y ser analizadas antes posible, con un tiempo máximo de siete días, conservándolas en recipientes de vidrio o polietileno adecuados para ello (véase Norma ISO 18512:2007), y así evitar la pérdida de volátiles que desvirtuaría su contenido real en muestra.

Por último, merece comentar que para que tenga lugar el movimiento de la fase DNAPL una vez atrapada en la red porosa han de superarse las tensiones capilares de entrada o de atrapamiento. Así, para continuar su movimiento vertical, las fuerzas gravitacionales han de ser mayores que las fuerzas capilares, de manera que la carga vertical de DNAPL sea tal que supere la presión de entrada (ya sea de aire o agua) a los poros en los distintos depósitos geológicos.

Esta relación entre fuerzas gravitacionales y capilares está definida por el número de Bond, B_o , que se calcula de acuerdo a la expresión dada en la Ecuación 2, en la que ρ_w es la densidad del agua, ρ_{NAPL} la densidad del DNAPL, g es la aceleración de la gravedad y R el radio de los poros, de modo que cuanto menor sea el tamaño de poro en el que haya quedado atrapado el DNAPL, será necesario un mayor volumen de columna de DNAPL para que sea capaz de proseguir su infiltración.

Ecuación 2. Número de Bond

$$B_o = \frac{(\rho_{NAPL} - \rho_w)g R^2}{\sigma_{NW}} = \frac{\text{fuerzas gravitacionales}}{\text{fuerzas capilares}}$$

Para el caso de movilización de horizontal de DNAPL, las fuerzas viscosas de flujo condicionado por la permeabilidad intrínseca del terreno y el gradiente hidráulico son las que deben de superar a las fuerzas capilares. Esta relación está dada por el número capilar, N_c , calculado mediante la Ecuación 3, donde μ_w es la viscosidad dinámica del agua, V_w es la velocidad del agua y σ_{NW} la tensión interfacial NAPL-agua.

Ecuación 3. Número Capilar

$$N_c = \frac{(\mu_w V_w)}{\sigma_{NW}} = \frac{\text{fuerzas viscosas}}{\text{fuerzas capilares}}$$

De manera que, conociendo las permeabilidades intrínsecas del medio poroso y el gradiente hidráulico existente, se puede establecer la eventualidad del movimiento de la fase DNAPL a partir del ábaco propuesto en 1984 por Wilson y Conrad (Figura A10.4). Así, de esta figura se dirime, considerando las permeabilidades obtenidas *in situ* y definidas en el Apartado 0, y una tensión interfacial estimada el contacto DNAPL-AGUA de orden de 20 nN/m, que únicamente el DNAPL atrapado en los poros de mayor tamaño, es decir, el

existente en las gravas y localmente en las arenas, es susceptible de ser movilizado tanto vertical como horizontalmente.

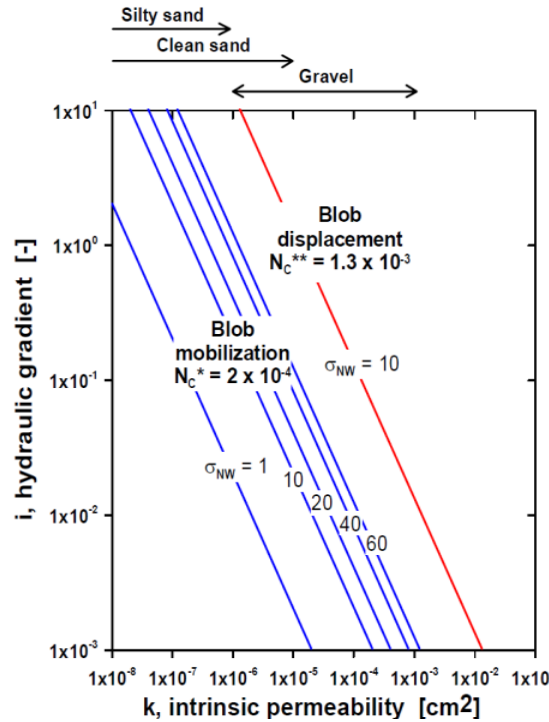


Figura A10.4. Ábaco para la determinación de la movilización del DNAPL (Cohen y Mercer, 1993)

En la Tabla A10.1 se aporta un resumen de la capacidad de movimiento del DNAPL en distintos tipos de depósitos cuaternarios, donde se puede comprobar que en el caso de materiales mezcla de gravas y arenas, de la capa de acuífero que hay en las parcelas al pie del vertedero de Sardas por encima del nivel de margas, su capacidad de movimiento horizontal quedará condicionado por el gradiente hidráulico.

Tabla A10.1. Capacidad de movimiento de DNAPL atrapado

Tipo de suelo	Movimiento horizontal	Movimiento vertical
Gravas	Si	Si
Arenas y Gravav	¿?	Si
Arenas	No	Si
Limos y Arcillas	No	No

De modo que las fuerzas capilares, función de la tensión interfacial, controlan la movilización tanto vertical como horizontal de la fase líquida, de modo que estando en saturación residual, sin continuidad de la fase, no es posible extraerla del medio poroso directamente mediante bombeo.

Por último, cabe destacar que al pie del terraplén de la N-330, en las parcelas al pie del vertedero ocupadas por estas formaciones de limos y rellenos, se recogen de forma continua los lixiviados surgentes mediante

una estructura de intercepción construida en 2018, en la que se puede comprobar “de visu” la presencia de contaminantes por coloración blanquecina tornasolada de las aguas recogidas (Figura A10.5).



Figura A10.5. Tuberías de captación y arqueta de recogida de liviviados y escorrentías. Detalle de los liviviados

Adicionalmente, con el objeto de rebajar el nivel del agua y evitar surgencias desde el vaso de vertido, se procede al bombeo de liviviados en el sondeo piezométrico 9000000076 (S37), situado aguas arriba de la zona media de la pantalla de bentonita. De la distribución mensual de volúmenes de liviviado bombeados entre 2015 y 2019 (Tabla A10.2) no se puede extraer una ley general, aunque si se observa que en el último cuatrimestre de cada año se recupera un menor volumen de liviviados con respecto a los otros, lo que podría deberse a la depresión del nivel piezométrico que se suele dar en ese punto para esa época del año, comprendida entre 1 y 2 m en 2016.

Tabla A10.2. Volúmenes de liviviados bombeados entre 2015 y 2019

Mes	Volumen tratado (m ³)				
	2015	2016	2017	2018	2019
Enero	304,1	173,8	136,2	32,7	103,4
Febrero	367,0	419,8	141,6	169,0	236,5
Marzo	619,4	392,2	401,4	277,0	40,1
Abril	510,0	358,1	265,8	220,5	166,1
Mayo	346,3	323,3	317,4	318,4	95,8
Junio	60,1	408,4	170,4	179,1	108,5
Julio	0,7	224,7	208,0	77,3	271,5
Agosto	0*	104,7	120,9	584,0	20,7
Septiembre	0*	34,9	63,0	16,3	5,7
Octubre	0*	128,0	43,0	0*	6,6
Noviembre	0*	240,8	39,0	0*	36,4
Diciembre	0*	48,7	9,2	0*	13,0

* No hubo extracción por obras de mejora en el sistema de captación de liviviados

A continuación, los liviviados captados se conducen hacia las balsas de decantación (Figura A10.6), donde finalmente se concentra por evaporación natural la fase acuosa de dicha mezcla.



Figura A10.6. Balsas de lixiviados de nueva (izquierda) y antigua (derecha)

Antes de su emplazamiento en la balsa, los lixiviados se conducen con un sistema de tuberías PEAD de diámetro 160 mm a un aforador Parshall para el control caudal, un decantador lamelar para decantación de sólidos y, finalmente a una planta de tratamiento químico, en la que mediante reactores y columnas filtrantes de carbón activo se eliminan la mayor parte de contaminantes y se neutraliza el pH de la mezcla lixiviados/escorrentías/DNAPL. En la Figura A10.7 se pueden estas dos últimas instalaciones, ambas ejecutadas en 2019.



Figura A10.7. Decantador (izquierda) y planta para tratamiento de lixiviados (derecha)

Debe destacarse aquí la posibilidad que haya habido fugas de lixiviados en el pasado desde las conducciones y desde la balsa antigua, como se postuló en los informes del CEDEX de 1989 y 1990. De hecho, desde 2015 se han ido registrando de forma sistemática en el sondeo piezométrico 90000000130 (ST1C), situado entre esta balsa y el embalse, unas concentraciones de γ -HCH y CB en la capa de aluvial superiores a 100 mg/l y 1000 mg/l, respectivamente.



CEDEX

ANEJO XI ANÁLISIS DE ISÓMEROS DE HCH EN AGUA Y SEDIMENTOS



CEDEX



ANEXO XI. ANÁLISIS DE ISÓMEROS DE HCH EN AGUA Y SEDIMENTOS EN LOS INFORMES ANUALES SOBRE LAS ACTUACIONES ENCAMINADAS A DETERMINAR EL ESTADO ECOLÓGICO DE LOS CAUCES EN LA CUENCA DEL RÍO GÁLLEGO (BAILÍN-SABIÑÁNIGO).

La red de muestreo para la evaluación el estado ecológico de los cauces en la cuenca del río Gállego (Bailín-Sabiñanigo), dentro del “Plan de seguimiento y control del vertedero de HCH de Bailín y Sardas” del Gobierno de Aragón, comprende 16 puntos en los ríos Gállego, Aurín y Basa. En ellos se caracteriza el estado ecológico mediante indicadores hidromorfológicos y biológicos, se valora el estado de las especies piscícolas y se determina la presencia y concentración de lindano y otros isómeros del hexaclorociclohexano (HCH), metales y otros contaminantes en aguas, sedimentos y peces.

La información presentada en este anexo procede de documentación disponible para consulta pública en el sitio web <http://www.stoplindano.es/datosdeinteres/publicaciones>. Se han compilado y revisado los resultados de las analíticas realizadas para determinar las concentraciones de isómeros de HCH en muestras de agua y sedimentos recogidas en los puntos localizados el embalse de Sabiñánigo (E1, E2, E3) y, aguas arriba de éste, en los cauces de los ríos Gállego (P8) y Aurín (P1 y P9). La descripción y coordenadas de estos puntos de muestreo se muestran en la Tabla A11.1.

Tabla A11.1. Codificación de los puntos seleccionados y coordenadas UTM (datum WGS84) en sus correspondientes fichas de punto de muestreo.

Código	Descripción	Coord. X	Coord. Y
E1	Embalse Sabiñánigo brazo INQUINOSA	717830	4710450
E2	Embalse Sabiñánigo zona Sardas	718020	4710410
E3	Embalse Sabiñánigo cola embalse	718030	4710580
P1	Desembocadura del Aurín en el Río Gállego	717945	4711720
P8	Río Gállego aguas arriba del puente de Oliván	719820	4718305
P9	Río Aurín aguas abajo de la presa de sólidos de Isín	713280	4719690

Aunque el primer informe disponible data del año 2006, la serie de datos compilada y presentada en las gráficas de los anexos de estos informes comienza en el año 2010. Para los años anteriores a 2010, la información analítica no está disponible (años 2008 y 2009) o no es comparable por diferencias en las redes de muestreo empleadas (años 2006 y 2007). Por ello, el período seleccionado para el estudio realizado en este encargo es 2010-2022. En este período, las técnicas analíticas empleadas en la determinación de isómeros de HCH en las muestras de agua detectan el contaminante por encima de concentraciones 0,02 µg/L. En relación con la determinación de HCH en las muestras de sedimento, se observa un incremento progresivo en la sensibilidad de las técnicas analíticas. Mientras que los umbrales de determinación en el periodo 2010-2013 oscilan entre 0,01 y 0,05 mg/Kg, en el periodo de 2014-2017 se reportan concentraciones



de contaminante por encima de 0,001 mg/Kg y se observan mejoras en la sensibilidad en al menos en un orden de magnitud para el periodo 2018-2020 (valor mínimo reportado de 0,000138 mg/Kg). En la Tabla A11.2 se recoge un resumen de las sensibilidades analíticas, el número de análisis disponibles para cada punto y tipo de muestra y el número de análisis en los que se detecta HCH en cada uno de los periodos considerados.

Tabla A11.2. Datos disponibles de HCH para cada tipo de muestra, periodo y punto de muestreo. Se indican las sensibilidades analíticas para la detección de isómeros de HCH, el número de análisis disponibles (n) y el número de análisis en los que se detecta HCH (n_{HCH}).

Muestra	AGUA		SEDIMENTO		SEDIMENTO		SEDIMENTO	
Periodo	2010-2020		2010-2013		2014-2017		2018-2020	
Sensibilidad	0,02 $\mu\text{g/L}$		0,01-0,05 mg/Kg		0,001 mg/Kg		0,000138 mg/Kg	
	n	n_{HCH}	n	n_{HCH}	n	n_{HCH}	n	n_{HCH}
Punto E1	11	9	4	0	3	3	3	3
Punto E2	10	3	4	0	3	3	3	3
Punto E3	9	2	3	0	3	3	2	2
Punto P1	8	0	2	0	3	3	3	3
Punto P8	10	0	4	0	2	1	3	2
Punto P9	10	0	4	0	2	1	3	2

En la Figura A11.1 se muestra una gráfica con las concentraciones máximas de HCH en agua y en sedimentos medidas en cada uno de los puntos. Se han encontrado concentraciones de HCH superiores a 0,0001 mg/Kg en los sedimentos de todos los puntos de muestreo considerados, tanto en el embalse de Sabiñánigo como en los cauces de los ríos Aurín y Gállego aguas arriba de este embalse. En el caso de las muestras de agua analizadas, sólo se han encontrado concentraciones de HCH superiores a 0,02 $\mu\text{g/L}$ en los tres puntos de muestreo del embalse.

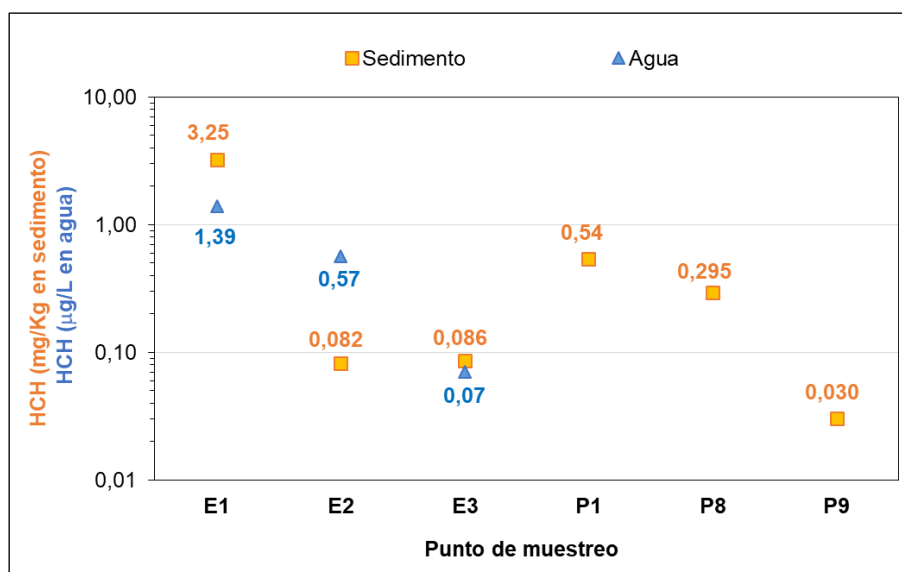


Figura A11.1. Valores máximos de HCH (suma de isómeros α , β , γ , δ y ϵ) en el embalse de Sabiñánigo (puntos de muestreo E1, E2 y E3) y en cauces aguas arriba del embalse (puntos de muestreo P1, P8 y P9) correspondientes a muestras de sedimento y de agua superficial (periodo 2010-2020).

La representación gráfica de los valores de HCH medidos se presenta en la Figura A11.2 para cada uno de los puntos situados en el embalse de Sabiñánigo y en la Figura A11.3 para los puntos de muestreo situados aguas arriba del embalse de Sabiñánigo. En la comparación e interpretación de estas gráficas debe tenerse en cuenta que el eje de ordenadas es distinto para cada punto, que se trata de medidas puntuales y, en el caso de los sedimentos, que la sensibilidad de la técnica analítica ha cambiado dentro del periodo representado (ver Tabla A11.2). En las series incompletas, se indica en el pie de figura los años para los que no se dispone de dato.

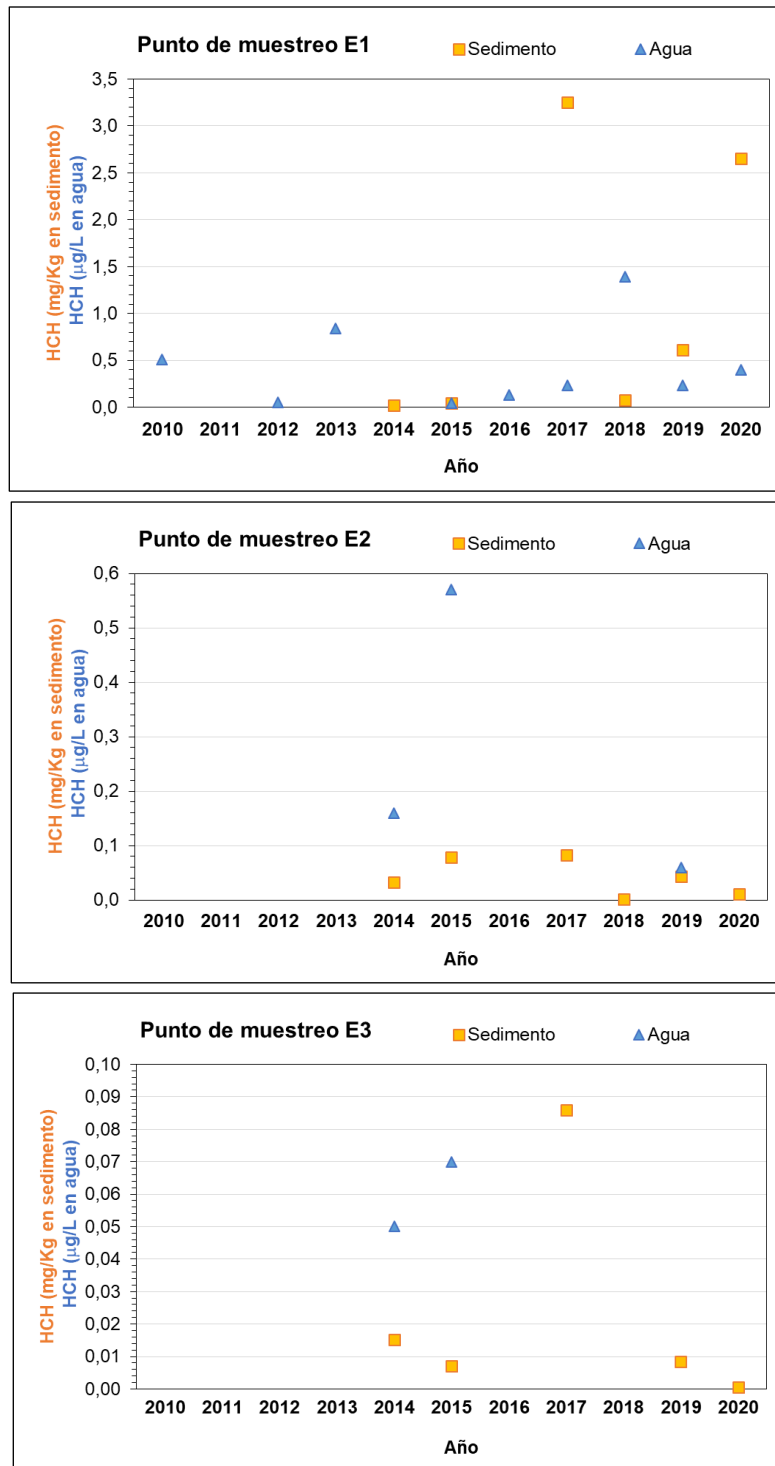


Figura A11.2. Concentración de HCH (suma de isómeros α , β , γ , δ y ϵ) medida en los puntos de muestreo E1 (embalse de Sabiñánigo brazo INQUINOSA), E2 (embalse de Sabiñánigo zona Sardas) y E3 (embalse de Sabiñánigo cola embalse) en muestras de agua superficial (serie completa para E1, sin dato en 2016 para E2 y sin dato en 2013 y 2016 para E3) y de sedimento (sin dato en 2016 para E1 y E2 y sin dato en 2013, 2016 y 2018 para E3).

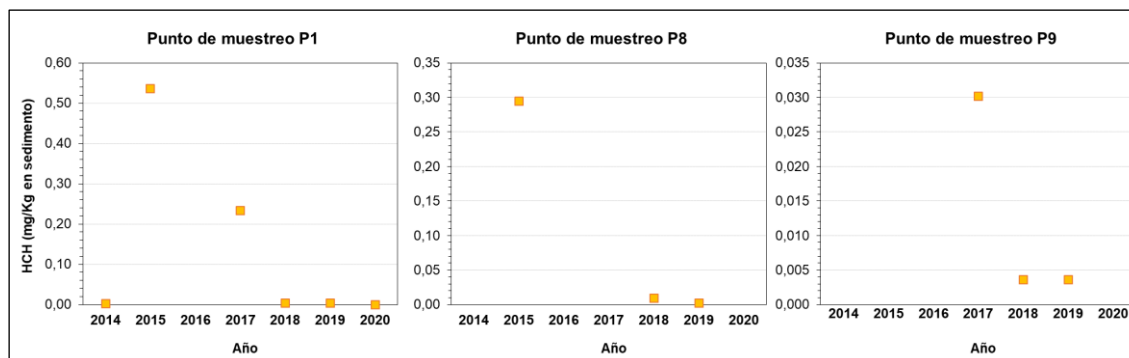


Figura A11.3. Concentración de HCH (suma de isómeros α , β , γ , δ y ϵ) medida en muestras de sedimento en los puntos de muestreo P1 (desembocadura del Aurín en el Río Gállego, sin dato en 2016), P8 (Río Gállego aguas arriba del puente de Oliván, sin dato en 2016 y 2017) y P9 (Río Aurín aguas abajo de la presa de sólidos de Isín, sin dato en 2015 y 2016).

Comparando los valores de HCH medidos en los puntos de muestreo, las concentraciones más elevadas se registran en las muestras tomadas en los puntos situados en el embalse de Sabiñánigo y, dentro del embalse, en el punto E1 localizado en el brazo de INQUINOSA, tanto en sedimento como en agua. De hecho, en los puntos de muestreo situados aguas arriba del embalse de Sabiñánigo, no se ha detectado HCH en las muestras de agua. En cuanto a las concentraciones de HCH medidas en sedimentos, éstas son notablemente más bajas en la zona próxima al vertedero de Sardas (E2) y en cola del embalse (E3), incluso son mayores en la cola del embalse.

Por otro lado, se ha evaluado la presencia relativa de los diferentes isómeros del HCH en cada tipo de muestra y punto de muestreo. Los porcentajes promedio obtenidos en el periodo de 2010 a 2020 se representan en la Figura A11.4. En la comparación e interpretación de estas gráficas debe tenerse en cuenta la diferencia del número de análisis disponibles en cada caso para el cálculo (n_{HCH} varía entre 2 y 9) y el carácter puntual de las muestras en un amplio rango temporal. Para los puntos de muestreo situados en el embalse de Sabiñánigo con al menos cinco análisis disponibles ($n_{\text{HCH}} \geq 5$), se ha analizado además la evolución temporal del patrón de distribución de isómeros considerando dos periodos: 2010-2015 y 2016-2020 (Figura A11.5).

El patrón de distribución de isómeros de HCH en las muestras de agua en el punto E1 del embalse ($n_{\text{HCH}} = 9$) se caracteriza por el predominio de dos isómeros (ϵ -HCH y β -HCH), siendo el porcentaje para la suma del resto de isómeros muy bajo ($\leq 16\%$). En las muestras de agua tomadas en los otros dos puntos del embalse, en cambio, sólo se han detectado los isómeros α -HCH y β -HCH (campañas de 2014, 2015 y 2019 para E2; campañas de 2014 y 2015 para E3).

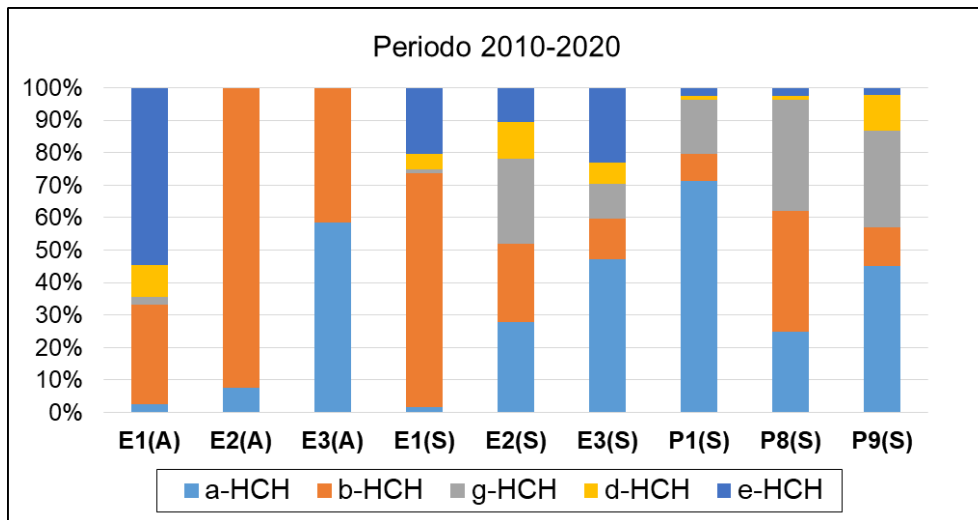


Figura A11.4. Porcentaje promedio de los diferentes isómeros de HCH en el periodo 2010-2020. Los resultados mostrados corresponden a las muestras de agua (A) en los puntos E1 ($n_{HCH} = 9$), E2 ($n_{HCH} = 3$) y E3 ($n_{HCH} = 2$), y las muestras de sedimento (S) en los de los puntos E1 ($n_{HCH} = 6$), E2 ($n_{HCH} = 6$), E3 ($n_{HCH} = 5$), P1 ($n_{HCH} = 6$), P8 ($n_{HCH} = 3$) y P9 ($n_{HCH} = 3$)

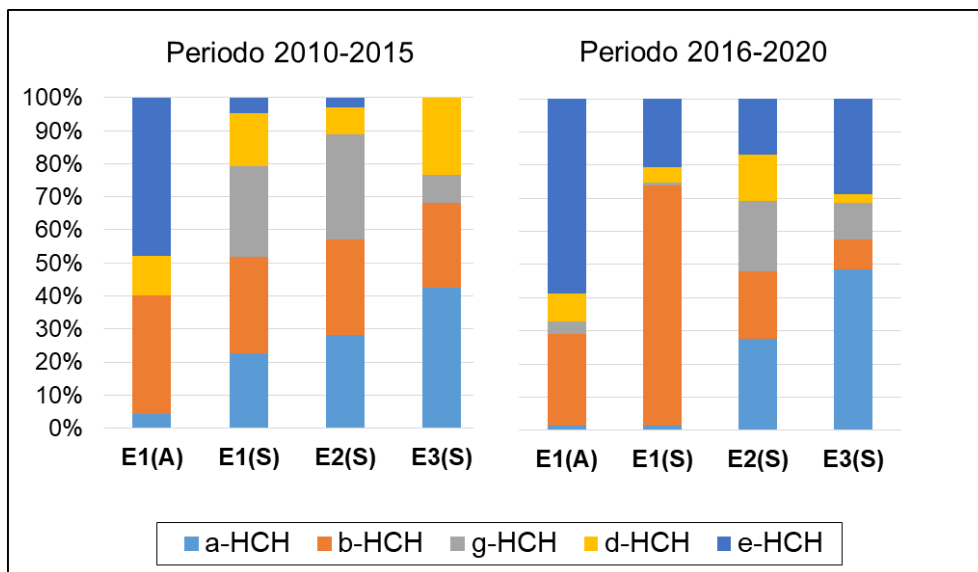


Figura A11-5. Porcentaje promedio de los diferentes isómeros de HCH en los periodos 2010-2015 (izquierda) y 2016-2020 (derecha). Los resultados mostrados corresponden a las muestras de agua (A) en el punto E1 y las muestras de sedimento (S) en los puntos E1, E2 y E3.

En las muestras de sedimentos en el embalse (puntos E1, E2 y E3) se detectan todos los isómeros de HCH en contribuciones variables de un punto a otro, presentando el isómero ϵ -HCH un porcentaje residual ($\leq 5\%$) en el periodo 2010-2015 que se incrementa hasta porcentajes entre el 17% y el 29% en el periodo 2016-2020.



En los sedimentos en los puntos aguas arriba del embalse (P1, P8 y P9) se detectan todos los isómeros, con una presencia notable de los isómeros α -HCH (entre el 25 y el 71%) y γ -HCH (entre el 17% y el 34%) y contribuciones residuales del isómero ε -HCH (2-3%).

A modo de síntesis, de los seis puntos de muestreo de agua y sedimentos situados en el embalse de Sabiñánigo (E1, E2 y E3) y, aguas arriba de éste, en los cauces de los ríos Aurín (P1 y P9) y Gállego (P8), la localización en la que se detecta HCH con mayor frecuencia y en concentraciones más elevadas, tanto en las muestras de agua como de sedimentos, es el punto E1 ubicado en la margen derecha del embalse, en el brazo de INQUINOSA. Las concentraciones máximas de HCH (suma de isómeros α , β , γ , δ y ε) medidas en este punto han alcanzado valores de 1,39 $\mu\text{g/L}$ en agua (campaña de 2018, con 69% de ε -HCH) y de 3,25 mg/Kg en sedimento (campaña de 2017, con 90% de β -HCH). En el punto E2 ubicado en la margen izquierda del embalse, en la zona del vertedero de Sardas, se han medido concentraciones máximas de HCH de 0,57 $\mu\text{g/L}$ en agua (año 2015) y 0,082 mg/Kg en sedimento (año 2017), mientras que en el punto E3 ubicado en la cola del embalse se han detectado niveles máximos de HCH de 0,07 $\mu\text{g/L}$ en agua (año 2015) y 0,086 mg/Kg en sedimento (año 2017). Aguas arriba del embalse, se ha detectado HCH en las muestras de sedimento en los tres puntos estudiados (hasta 0,54 mg/Kg en P1, año 2015), pero no en las de agua (HCH < 0,02 $\mu\text{g/L}$).



CEDEX