

# **ANÁLISIS AMBIENTAL DE LOS SEDIMENTOS Y DEL ENTORNO DEL EMBALSE DE SABIÑÁNIGO (HUESCA) Y EVALUACIÓN DE RIESGOS.**

DOCUMENTO 2: Caracterización medioambiental

## ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN .....	4
2	OBJETIVOS .....	5
3	ANTECEDENTES .....	5
3.1	Información preliminar .....	8
4	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO .....	9
4.1	Geomorfología .....	10
4.2	Climatología .....	13
4.3	Geología .....	14
4.4	Hidrogeología .....	20
5	FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN .....	21
6	TRABAJOS REALIZADOS .....	23
6.1	Inventario de puntos de agua .....	23
6.2	Inventario de puntos de vertido .....	24
6.3	Estrategia de muestreo y diseño del Plan analítico .....	25
6.4	Ejecución de sondeos .....	26
6.5	Toma de muestras .....	30
6.6	Mediciones del nivel freático .....	31
6.7	Topografía .....	32
6.8	Ensayos de laboratorio .....	32
7	CRITERIOS DE VALORACIÓN .....	32
8	RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
8.1	Litología y observaciones organolépticas .....	34
8.2	Ensayos granulométricos .....	38
8.3	Dinámica del embalse .....	39
8.4	Resultados de los ensayos de laboratorio .....	40
9	VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	56
9.1	Modelo conceptual del emplazamiento .....	56
9.2	Características de los compuestos detectados .....	57
9.3	Estado de los suelos y de las aguas de la zona perimetral del embalse .....	59
9.4	Sobre la calidad medioambiental del embalse (sedimentos y aguas superficiales) .....	62
10	CONCLUSIONES .....	71
11	RECOMENDACIONES .....	74

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características generales de los sondeos realizados en tierra alrededor del embalse. ....	28
Tabla 2.	Características generales de los sondeos realizados en el vaso del embalse. ....	29
Tabla 3.	Profundidad del nivel freático (NF) .....	32
Tabla 4.	Caracterización granulométrica de los sedimentos de colmatación. ....	38
Tabla 5.	Resultados de los análisis realizados en las gravas cuaternarias de los sondeos de tierra (mg/kg) .....	41
Tabla 6.	Resultados de los análisis químicos realizados en las gravas cuaternarias de los sondeos realizados en el vaso del embalse (mg/kg). ....	42
Tabla 7.	Resultados de los análisis químicos realizados sobre las muestras de sedimentos de colmatación (mg/kg) .....	44
Tabla 8.	Resultados obtenidos de los análisis realizados sobre las muestras de agua subterránea .....	52
Tabla 9.	Resultados obtenidos de los análisis realizados sobre las muestras de colectores y de la acequia .....	53
Tabla 10.	Resultados de los análisis de lixiviados .....	55
Tabla 11.	Residuos de producción del HCH .....	58
Tabla 12.	Propiedades físicas de los isómeros del HCH .....	59
Tabla 13.	Parámetros estadísticos de los compuestos detectados en las muestras de suelo del sustrato gravoso. ...	63
Tabla 14.	Resultados de los ensayos de ecotoxicidad realizados en las muestras de sedimento. ....	69



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Imagen ampliada del mapa topográfico 1:200.000 de la zona de estudio.....	9
Figura 2: Fotografía aérea del embalse previamente a su construcción. ....	10
Figura 3: Ortofotografía aérea y topografía de la zona del embalse en 2008.....	11
Figura 4: Fotografía general de la cerrada y la margen derecha del embalse. ....	12
Figura 5: Fotografía general de la zona central de la margen izquierda del embalse. ....	12
Figura 6. Esquema geomorfológico de la zona estudiada.....	13
Figura 7. Gráfico de precipitación y temperatura media en Sabiñánigo entre los años 1961 y 1990. ....	14
Figura 8. Fotografía de las Margas de Larrés desde la N-330. ....	15
Figura 9. Fotografía de las Areniscas de Sabiñánigo en la zona trasera de la cerrada del embalse. ....	16
Figura 10: Detalle de los conos de deyección situados en el extremo NE del embalse y dinámica asociada.....	18
Figura 11: Fotografía de un corte en una terraza baja en Sabiñánigo.....	19
Figura 12: Situación de los emisarios.....	25
Figura 13: Situación de los sondeos realizados por GEOCISA en diciembre de 2009.....	30
Figura 14: Fotografía de los sedimentos del fondo del embalse. ....	37
Figura 15. Dinámica del embalse .....	40
Figura 16: Esquema 1 del modelo conceptual del embalse. ....	57
Figura 17: Esquema 2 del modelo conceptual del embalse. ....	57
Figura 18: Distribución del HCH en las gravas cuaternarias. ....	64
Figura 19: Variación de la concentración de los isómeros del HCH con la profundidad.....	65
Figura 20: Distribución del clorobenceno en las gravas cuaternarias.....	65
Figura 21: Variación de la concentración de Clorobencenos con la profundidad .....	66
Figura 22: Variación de la concentración de los isómeros del HCH con la profundidad.....	67
Figura 23: Variación de la concentración del benceno, fenol y clorofenol con la profundidad.....	68
Figura 24: Variación de la concentración de los clorobencenos con la profundidad. ....	68
Figura 25: Variación de la concentración de metales con la profundidad.....	68
Figura 26. Localización de los sondeos ejecutados y de los sondeos propuestos.....	75

## INDICE DE ANEJOS

### A-1 PLANOS

- Plano 1 Localización geográfica de la zona de estudio
- Plano 2 Plano topográfico detallado
- Plano 3 Plano de focos potenciales de afección
- Plano 4 Plano de la hidrodinámica del embalse
- Plano 5 Situación de los puntos de muestreo
- Plano 6 Resultados analíticos en muestras del Cuaternario
- Plano 7 Resultados analíticos en muestras de los sedimentos
- Plano 8 Resultados analíticos en muestras líquidas
- Plano 9 Planos de isoconcentración
- Plano 10 Perfiles geológicos del embalse y resultados analíticos

### A-2 TABLAS RESUMEN

### A-3 REGISTROS Y FOTOGRAFÍAS DE SONDEOS

### A-4 ENSAYOS DE LABORATORIO

### A-5 REPORTAJE FOTOGRAFICO

### A-6 PROCEDIMIENTOS E INSTRUCCIONES

### A-7 DATOS ANALÍTICOS APORTADOS POR LA CHE



## 1 INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los trabajos realizados por GEOTECNIA Y CIMENTOS S.A. (GEOCISA) a petición de la Confederación Hidrográfica del Ebro, para la realización del *Análisis Ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca)*.

La Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE) tiene como objetivo fundamental alcanzar el buen estado de las aguas en el entorno de la Union Europea en el año 2.015. Para lograr el objetivo propuesto es necesario acometer una serie de acciones correctoras en aquellas zonas hidrológicas que han estado sometidas a la potencial influencia de diferentes procesos industriales que incluyen la producción, el vertido y el acopio de diversas sustancias.

Una de estas zonas se localiza en la localidad de Sabiñánigo, provincia de Huesca, en las cercanías del río Gállego a su paso por dicha localidad.

En la cuenca del río Gállego se construyeron aprovechamientos hidroeléctricos a comienzos del siglo XX, lo cual favoreció la instalación de numerosas industrias en el entorno de Sabiñánigo, muchas de las cuales se dedicaron a la fabricación de productos químicos (ácido sulfúrico, aluminio electrolítico, cloro, ácido clorhídrico, HCH, fósforos, etc).

Estas actividades pudieron causar un impacto medioambiental en el embalse de Sabiñánigo, construido en 1965, y con objeto de solucionarlo, tanto la Diputación General de Aragón, en 1.991, como la Confederación Hidrográfica del Ebro en 2.009, encargaron la realización de diferentes tipos de estudios, así como la elaboración de proyectos de saneamiento de la zona.

En el presente documento se aborda el estudio medioambiental, detallado, del estado actual del embalse y de su entorno.

El **objetivo** principal de las tareas es determinar, definir y caracterizar medioambientalmente los sedimentos y el sustrato del embalse, y definir los focos potenciales de afección al mismo.

El **marco de actuación** se limita al embalse así como al entorno inmediato del mismo, concretamente las áreas con influencia industrial que lindan con la zona de Dominio Público Hidráulico del Río Gállego en las proximidades de Sabiñánigo.

El **alcance** de las tareas contempla, de manera general, la recopilación de la documentación existente sobre el emplazamiento, el reconocimiento complementario del subsuelo mediante la ejecución de sondeos, la toma de muestras de sedimentos y aguas, tanto subterráneas como superficiales, el análisis químico en laboratorio de las muestras recogidas y la elaboración de un informe de evaluación.



## 2 OBJETIVOS

Los objetivos del presente estudio han sido los siguientes:

- Caracterizar el medio físico sobre el que se asienta el emplazamiento mencionado, definiendo las características geológicas e hidrogeológicas del mismo.
- Establecer la presencia o ausencia de sustancias de origen industrial, así como caracterizar éstas, mediante la realización de un muestreo y análisis de la zona.
- Determinar los focos potenciales de afección existentes, la distribución de las sustancias de origen industrial, las posibles vías de dispersión y sus mecanismos de transporte.
- Evaluar la situación medioambiental del subsuelo en la zona de estudio.
- Valorar e interpretar los resultados obtenidos y, a la vista de los resultados, definir las pertinentes medidas de actuación.

## 3 ANTECEDENTES

La industrialización de Sabiñánigo comenzó a principios del siglo XX, aprovechando la disponibilidad de energía eléctrica obtenida del río Gállego. La primera empresa en instalarse a orillas del actual embalse de Sabiñánigo fue *Energías e Industrias Aragonesas en el año 1923*, que se dedicaba a la obtención de ácido sulfúrico por tostación de piritas.

Con el comienzo de la actividad industrial comenzaron los vertidos fruto de las nuevas actividades. De hecho, es conocido que una amplia zona del actual pueblo está cimentada sobre piritas tostadas en ésta fase.

La disponibilidad de energía eléctrica favoreció el establecimiento de plantas de electrolisis. Así, la actual INESPAL comenzó su actividad en la metalurgia de aluminio electrolítico el año 1925, y ARAGONESAS estableció una línea de electrólisis para la obtención de cloro y fabricación de ácido clorhídrico.

Esta disposición de cloro indujo a la empresa BILBAO CHEMICAL a establecer una planta de fabricación del pesticida Lindano, isómero del hexaclorociclohexano, HCH, en las proximidades de ARAGONESAS. La empresa creada se denominó: Industrias Químicas del Noroeste, INQUINOSA.



INQUINOSA fabricó Lindano desde 1.975 hasta junio de 1.989 mediante un proceso de síntesis por el que se obtenía una mezcla de isómeros del HCH, de la que se separaba posteriormente el isómero gamma (17%), que es el que se comercializaba, quedando los restantes isómeros como residuo del proceso (83%), residuos que eran acumulados, y posteriormente depositados en los vertederos cercanos.

Toda ésta actividad industrial ha generado una importante cantidad de residuos peligrosos, que junto con los generados por otras industrias como FOSFORERA, DEQUISA, etc, se fueron depositando en los vertederos cercanos.

En la década de 1.960 entró en explotación el vertedero de Sardas, en el cual se depositaron sin ningún tipo de medida de control (impermeabilización, captación de lixiviados, depuración de aguas, etc) todos los residuos industriales generados en la zona, junto con residuos urbanos y escombros de construcción. Este vertedero permaneció en explotación hasta 1.987, aún cuando a partir de 1.984 INQUINOSA comenzó a verter en el nuevo vertedero municipal de Bailín.

Así pues, durante más de 30 años los residuos industriales de las empresas radicadas en Sabiñánigo se fueron depositando en estos dos vertederos. El hecho de estar muy próximos al punto de producción y el haber contado siempre con autorización municipal, hace poco probable la existencia de residuos en otros lugares.

Ambos vertederos, Sardas y Bailín, están muy próximos al río Gállego, y en sus aguas se ha detectado puntualmente la presencia de isómeros de HCH. Las concentraciones encontradas motivaron que en diciembre de 1.988, la Diputación General de Aragón (DGA) prohibiese el depósito de residuos tóxicos y peligrosos, procedentes de la fabricación de Lindano en los vertederos de la zona, y que la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE), prohibiese el vertido de aguas residuales procedentes de la fabricación de Lindano.

En junio de 1.989 la D.G.A. prohibió el almacenamiento provisional en bolsas de polietileno de dichos residuos en Bailín, lo que llevó a INQUINOSA a suspender la síntesis de Lindano. La empresa continuó su actividad comercial importando y envasando Lindano, previo micronizado, hasta que finalmente en abril de 1.991 la D.G.A. reiteró la prohibición del ejercicio de cualquier actividad productora de residuos tóxicos y peligrosos mientras no se contase con la oportuna autorización, e INQUINOSA cesó definitivamente de realizar vertidos e incluso actuaciones de gestión sobre los residuos existentes tanto en la fábrica como en los vertederos de la zona.



Este hecho induce a pensar que en las instalaciones no desmanteladas de INQUINOSA, pueden estar almacenados actualmente restos de materias primas y residuos de la producción de lindano, constituyendo por tanto un foco potencial de afección a las aguas y sedimentos del embalse.

En 1.997 se clausuró el vertedero de Sardas. Las obras consistieron en la impermeabilización superficial del vertedero mediante un revestimiento artificial (polietileno) y un recubrimiento de tierras para revegetación, junto con la construcción de un muro pantalla en el frente del vertedero. Se dispusieron varios piezómetros y una arqueta de control en la captación de lixiviados. Además se construyó una balsa para recoger los lixiviados y se instaló una depuradora.

En 1.995 se procedió al sellado del vertedero de Bailín. Las obras consistieron en el aislamiento superficial de la masa de residuos con láminas sintéticas impermeables y la construcción de pantallas de cemento-bentonita en el lado este y oeste del vaso de vertido. Además se construyó una red de drenaje superficial para recoger las aguas de escorrentía y una serie de drenajes profundos para recogida de lixiviados. Se completaron estos trabajos posteriormente con la construcción de una red de piezómetros dentro del vertedero y aguas abajo del mismo, para el seguimiento y control del funcionamiento de su sellado.

En 1.999 se constata el cese de los lixiviados del vertedero de Sardas, y más tarde se traslada la depuradora al vertedero de Bailín.

En junio de 2.005 se construyeron varios piezómetros de control en los terrenos localizados entre el vertedero de Sardas y el embalse con el objeto de controlar los posibles “escapes” de lixiviados del vertedero. Si bien los resultados del control analítico fueron negativos, posteriormente se ha comprobado que el número y ubicación de los sondeos no era el más adecuado para la caracterización de la zona.

Durante el año 2.005 se detectó residuo libre de HCH y otros organoclorados en los piezómetros de control situados aguas abajo del vertedero de Bailín. A partir de esta fecha, el Gobierno de Aragón inició los trabajos contención de la pluma de contaminación detectada y continuó con las labores de control y seguimiento.

Por su parte, la Confederación Hidrográfica del Ebro dispone desde principios de la década de 1.990 de un punto de control de la red de sustancias peligrosas en el río Gállego a la altura de Jabarrella, donde se toma mensualmente una muestra que es posteriormente analizada en el laboratorio de este Organismo. A partir de 2.008 se ha incrementado la frecuencia de muestreo



mediante la utilización del muestreador automático de la estación de alerta perteneciente a la red SAICA, localizada en el río Gállego a la altura de Jabarrella.

En febrero de 2.009 se comenzó a detectar residuo libre de HCH en la base del talud de la carretera que pasa junto al vertedero de Sardas. A partir de este momento las autoridades competentes han iniciado los trabajos de contención y tratamiento de los efluentes del vertedero, y de control de su evolución y de su incidencia sobre la calidad de las aguas del entorno.

Además, se han iniciado diferentes estudios para analizar la situación actual del vertedero y el estado medioambiental de la zona afectada, y estudiar las futuras medidas de actuación.

### **3.1 Información preliminar**

La elaboración del presente estudio ha requerido una labor previa de recopilación de información acerca del emplazamiento y de su entorno. Para ello se ha dispuesto de los estudios encargados por la DGA a diferentes empresas a partir del año 1.991 y que han sido facilitados a GEOCISA por la Confederación Hidrográfica del Ebro, y se ha utilizado otra información recopilada del IGME y de otros organismos oficiales.

Destaca entre esta información el trabajo titulado “Actuaciones realizadas en la ejecución de la primera fase del Proyecto de recuperación de la cuenca Alta del río Gállego” (TPA, 1991) encargado por el Gobierno de Aragón, en el que se realiza una caracterización química preliminar de los sedimentos más superficiales del relleno del embalse de Sabiñánigo.

Entre las principales conclusiones obtenidas de estos estudios previos destacaba la existencia de HCH en la zona de descarga de efluentes de *Inquinosa* y en el entorno del vertedero de Sardas, evidenciando afección en los sedimentos por los lixiviados de éste vertedero.

Otra posible fuente de afección al embalse se atribuyó a la producida por la actividad de *Energía e Industrias Aragonesas*.

El análisis de microcontaminantes realizado no mostró indicios de que existiese o hubiese existido afección por distintas fuentes de las descritas anteriormente.

En enero de 2009 la Confederación Hidrográfica del Ebro realizó un estudio batimétrico del embalse con el objetivo de estimar el nivel de colmatación del mismo y caracterizar físicamente los sedimentos de colmatación más someros. Adicionalmente se realizaron análisis químicos en varias muestras de los sedimentos de colmatación (marzo de 2009), cuyos resultados

indicaron una situación similar a la señalada en trabajos de caracterización realizados con anterioridad.

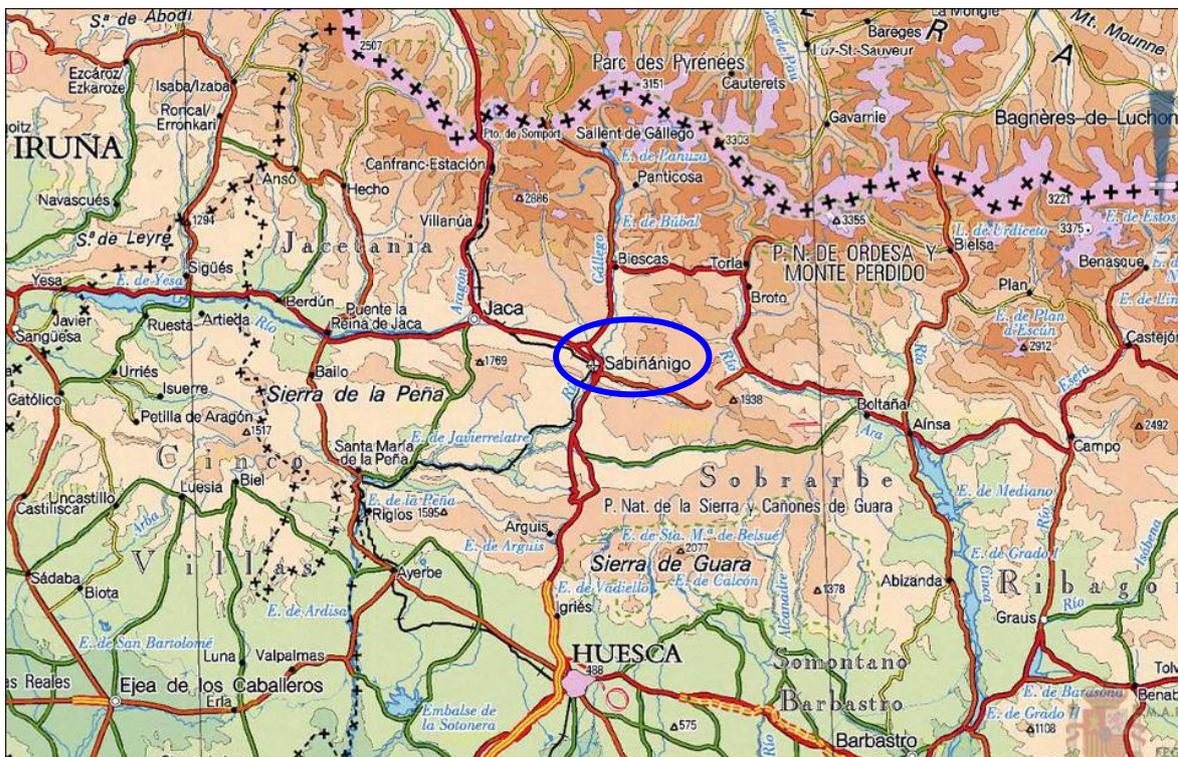
#### 4 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

El embalse de Sabiñánigo se sitúa al borde de la localidad de Sabiñánigo, en el norte de la provincia de Huesca, a unos 45 km al norte de Huesca capital.

Se trata de un área topográficamente deprimida relacionada con el afloramiento de materiales blandos (margas y facies flysh) con estructura de amplio anticlinal. Al sur se localiza la Sierra de Guara, y al norte los Pirineos con la zona Biescas y Panticosa.

La red fluvial en la zona es de tipo dendrítico, y la compone fundamentalmente el río Gallego, y como afluente principal el Aurín, que desemboca a unos pocos kilómetros al norte de la localidad. En la figura 1 se muestra una imagen del mapa en escala 1:200.000 de la zona.

Figura 1: Imagen ampliada del mapa topográfico 1:200.000 de la zona de estudio.



## 4.1 Geomorfología

Desde el punto de vista geomorfológico, la cordillera pirenaica está fuertemente afectada por el glaciario cuaternario, que ha dejado profundas huellas visibles en la geomorfología actual, valles en forma de U, circos glaciares, morrenas y un gran número de lagos de alta montaña originados al llenarse de agua antiguos recuencos de excavación glaciar.

El embalse se sitúa en el extremo sureste de la localidad, ocupando el cauce del río Gállego. La cerrada se ubica en la parte central de un crestón de areniscas que forma un resalte relativo al sur del municipio. El vaso ocupa el antiguo cauce, gran parte de la antigua llanura aluvial y parte de las terrazas más bajas. En la margen izquierda aparecen acantilados de unos 35 m de alto formados en las margas grises de la zona. La margen derecha esta formada por una terraza de escasa altura y amplia extensión.

En las figuras siguientes se muestran fotografías de la zona antes de la construcción del embalse y en la actualidad.

Figura 2: Fotografía aérea del embalse previamente a su construcción.

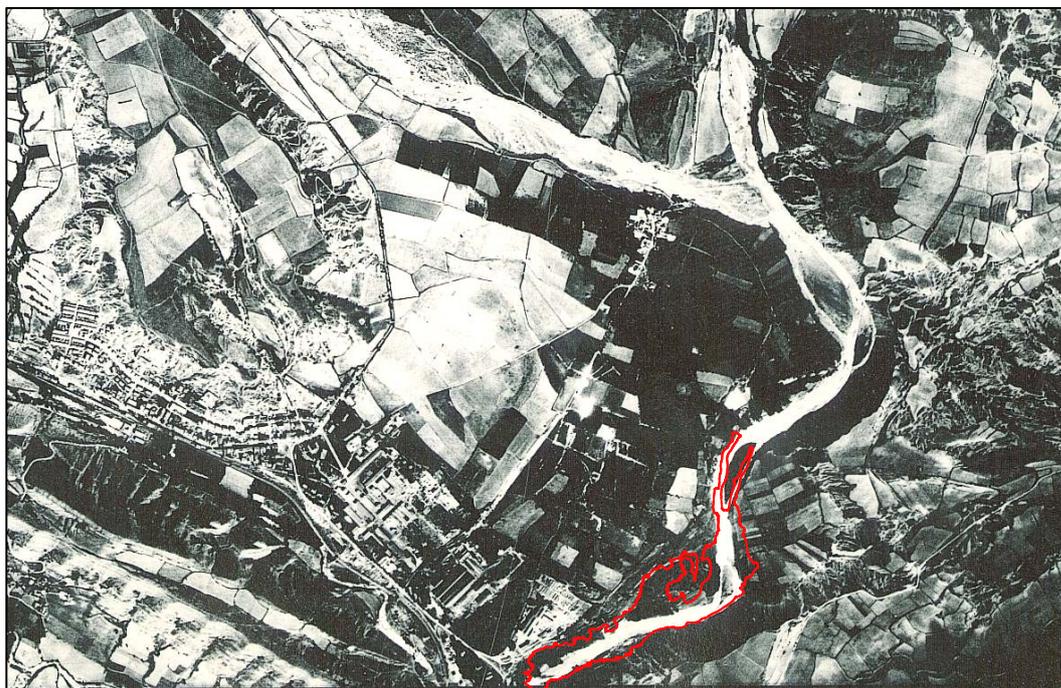
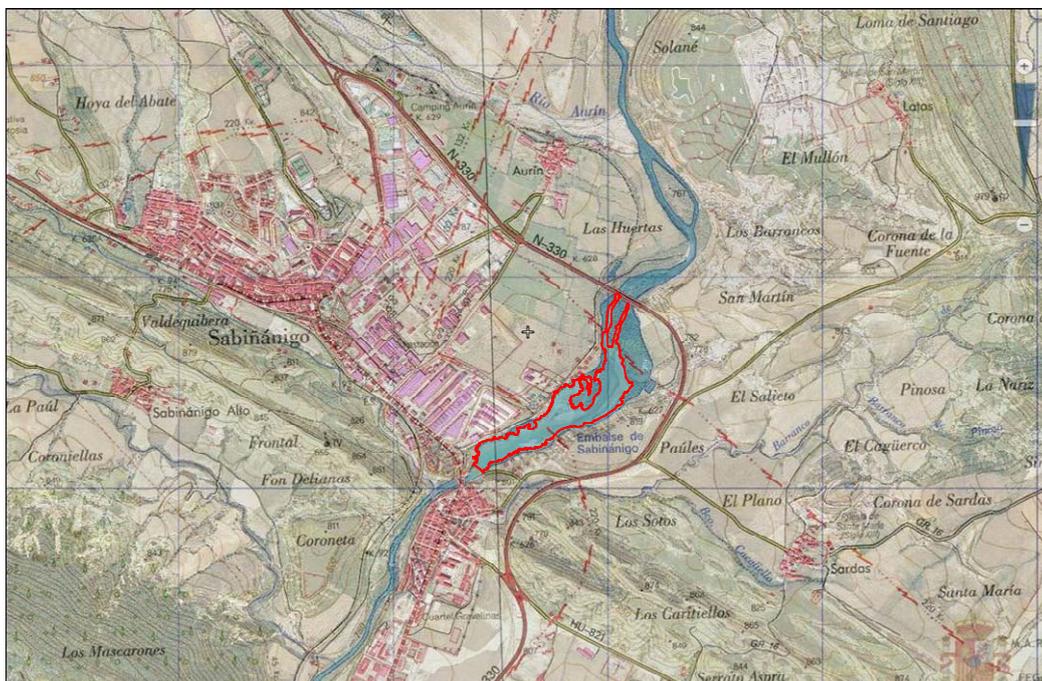


Figura 3: Ortofotografía aérea y topografía de la zona del embalse en 2008.



### El embalse

El embalse de Sabiñánigo ocupaba en el momento de su construcción, a cota 763,9 m, una superficie de 21,97 ha y tenía una capacidad de almacenamiento de unos 0,873 hm<sup>3</sup>. En la actualidad su capacidad de almacenamiento ha descendido en un 86,1 % ocupando a esa misma cota una superficie de 11,71 ha y teniendo una capacidad de almacenamiento de 0,093 hm<sup>3</sup>.

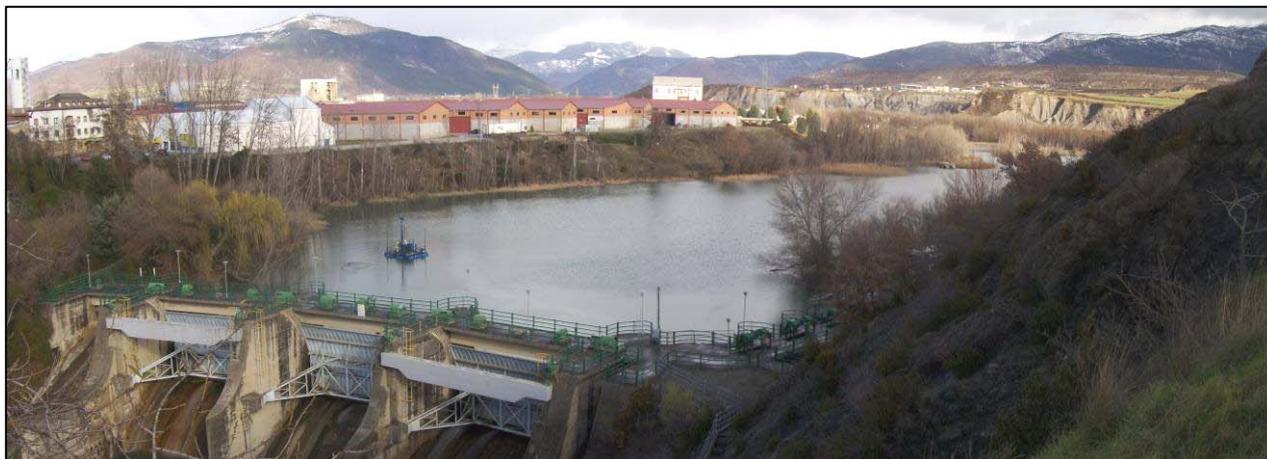
Ha sufrido un intenso proceso de aterramiento, estimándose que entre 1.965 y 2.009 se han depositado unos 780.000 m<sup>3</sup> de sedimentos en el embalse.

El proceso de aterramiento ha tenido como consecuencia que la profundidad del embalse haya cambiado significativamente, pasando de una media de unos 4,0 m a unos 0,8 m a cota 763,9 msnm. La profundidad máxima ha pasado de 9,4 m a 4,3 m.

### Geomorfología del embalse

Como se aprecia en las imágenes, la margen derecha del río esta formada por una gran terraza aluvial que se extiende desde el borde del embalse hasta los límites de la población. Esta terraza no es totalmente plana y horizontal sino que tiene una suave pendiente hacia el río de aproximadamente un 2%. De la misma forma, el escarpe que forma su límite es suave y se prolonga hasta el borde del agua del embalse.

Figura 4: Fotografía general de la cerrada y la margen derecha del embalse.



La margen izquierda presenta unas morfologías muy diferentes. Por un lado, la zona norte, en la cual afloran materiales margosos, que dan lugar a un relieve típico conocido como “badlands”, que se caracteriza por la presencia de numerosas cárcavas y estrechos cordales con laderas de grandes pendientes y abundantes derrubios al pie de las mismas. Y por otro lado, la zona central y sur, en la que afloran margas areniscas y areniscas, que generan relieves bastante abruptos con inclinaciones de unos 60-70°.

Figura 5: Fotografía general de la zona central de la margen izquierda del embalse.

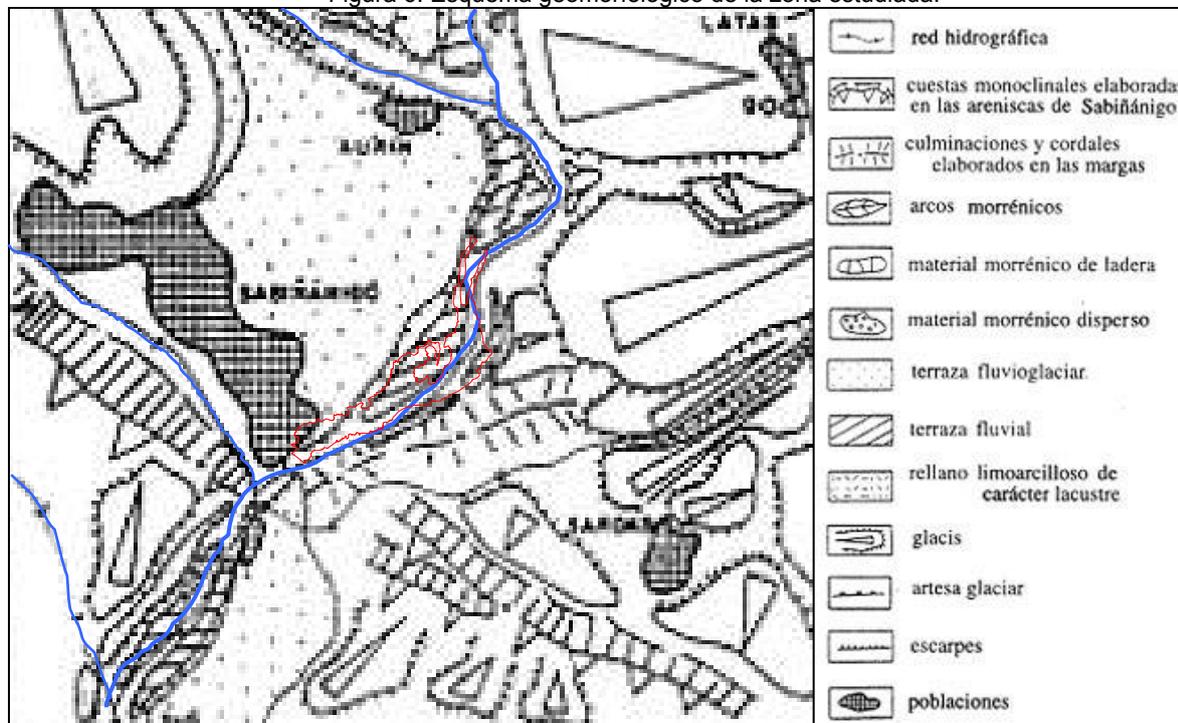


Finalmente, en el extremo sur aparece la zona de la cerrada del embalse, en la que se apoya la estructura de la presa sobre unos gruesos crestones de areniscas bastante verticalizadas.

En el extremo norte aparece una terraza baja, de escasa extensión, sobre la que se disponen algunos retazos de los abanicos aluviales generados en las margas. En esta pequeña planicie se ubican las dos balsas de lixiviados del vertedero de Sardas.

En la figura siguiente se adjunta un esquema geomorfológico de la zona.

Figura 6. Esquema geomorfológico de la zona estudiada.



## 4.2 Climatología

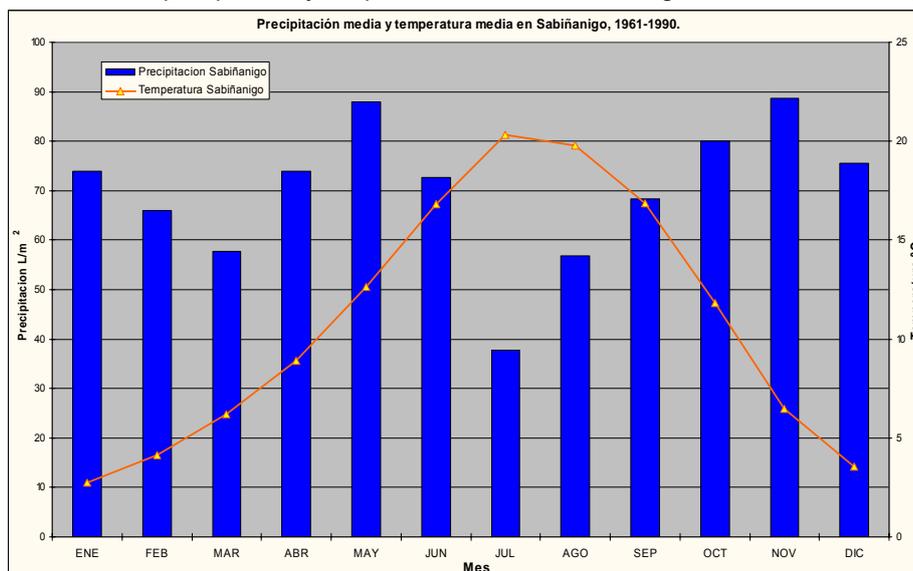
El clima de la zona se define como submediterráneo de montaña y se caracteriza por una marcada estacionalidad, pero con cierta influencia continental y atlántica. Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones húmedas y dos secas, con promedios anuales que oscilan entre 600 y 900 mm, y una media de 85 días de lluvia al año. Las precipitaciones tienden a concentrarse en otoño (máximo primario) y primavera. El invierno no es muy seco, debido al paso de frecuentes frentes borrascosos que provocan precipitaciones en forma de nieve. En verano son habituales las tormentas convectivas, de corta duración y alta intensidad. En otoño y primavera predominan las lluvias ciclónicas, de mayor duración, que están asociadas al paso de grandes borrascas.

En Sabiñánigo, la precipitación media anual es de 802,3 mm, existiendo un máximo en mayo y otro menos acusado en otoño. El mes con un mayor número de días de lluvia es mayo, mientras que el mes con un menor número de días lluviosos es julio. La precipitación máxima prevista para 24 h. en un periodo de retorno de 300 años es de 149,06 mm.

La temperatura media anual es de 10,9° C, siendo el mes más frío el de enero con 2,9° C y el más cálido el de julio con 20,4° C. La máxima temperatura se alcanza en julio, llegando a

medias máximas de 29,0° C, la mínima temperatura se alcanza en enero, siendo la media mínima de -3,39° C. Aproximadamente cada 12 ó 15 años, se producen fuertes heladas, llegando a los -15° C.

Figura 7. Gráfico de precipitación y temperatura media en Sabiñánigo entre los años 1961 y 1990.



La humedad relativa tiene una media anual por encima del 50%, siendo máxima en el periodo otoño-invierno.

### 4.3 Geología

Geológicamente la zona se estructura en dos partes; por un lado un basamento de edad terciaria y por otro los depósitos cuaternarios de origen periglacial, coluvial y aluvial que ocupan las partes bajas de las laderas y los fondos de los valles.

#### 4.3.1 Sustrato terciario

Los materiales de la zona tienen edad terciaria, perteneciendo al Eoceno Medio. Las litologías encontradas son areniscas y margas. Las margas pertenecen a la formación Margas de Larrés y las areniscas a la formación Areniscas de Sabiñánigo. Las primeras ocupan la parte norte del vaso y las segundas la parte sur. A continuación se describen las dos formaciones.

Las dos litologías se encuentran formando un anticlinal cuyo eje es perpendicular al embalse y se sitúa unos 200 m antes de la estructura de la cerrada. El sentido del buzamiento es hacia el norte, más o menos paralelo al río y al embalse. Los buzamientos son moderados, en torno a unos 30° o menos en la zona de cola, aumentando progresivamente hacia la zona de la cerrada donde las capas aparecen con buzamientos invertidos del orden de unos 70°.

### **Margas con niveles delgados de arenisca (Margas de Larrés)**

Están formadas por margas gris-azuladas, en las que existen intercalados niveles de slumps y esporádicas capas delgadas de areniscas turbidíticas. Su espesor puede estimarse en unos 750 m, a partir de los cortes geológicos.

Son materiales muy erosionables cuya denudación da lugar al relieve en cárcavas característico. En profundidad se compactan rápidamente, siendo el espesor de la zona alterada de un metro como máximo.

Litológicamente se trata de limos calcáreos con algo de arena. En profundidad aparecen parcial o totalmente cementados. Su porosidad se encuentra en torno a un 10% y su permeabilidad es muy baja estando su  $K$  en el entorno de  $10^{-8}$  m/s o menos.

El comportamiento hidrogeológico de esta unidad se corresponde con un acuitardo.

Figura 8. Fotografía de las Margas de Larrés desde la N-330.



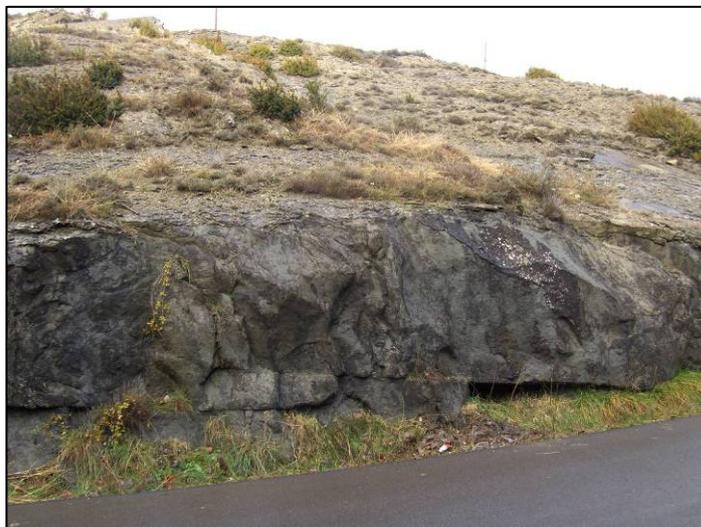
### **Areniscas y limolitas (Areniscas de Sabiñánigo)**

Corresponden a un nivel guía, de unos 100-150 m de espesor, que separa las margas de Larrés de las suprayacentes margas de Pamplona. Está compuesto por areniscas y limolitas grises muy bioturbadas, en las que prácticamente no se reconocen estructuras sedimentarias internas.

En la zona de estudio, esta formación se ubica únicamente en la cerrada del embalse, constituyendo el sustrato rocoso sobre el cual se asienta la estructura de hormigón de la presa.

Litológicamente es una arenisca calcárea de grano fino-medio cementada. Su porosidad es prácticamente nula y su permeabilidad muy baja, estimándose su  $K$  en el entorno de  $10^{-8}$  m/s, siendo de tipo secundario por fracturación.

Figura 9. Fotografía de las Areniscas de Sabiñánigo en la zona trasera de la cerrada del embalse.



#### 4.3.2 Cuaternario

Los materiales cuaternarios en la zona están representados por cinco tipos de depósitos diferentes: Coluviales, Fondos de Valle, Terrazas del Gállego y Aluviales. Asimismo, se diferencia un depósito actual formado por los sedimentos de colmatación existentes en el embalse y que se han generado entre 1.965 y la actualidad.

Exponer y determinar los procesos que se desarrollan actualmente en los alrededores, así como en el interior del embalse es importante, ya que ellos determinan los aportes de sedimentos, cuál es su volumen, su naturaleza y las zonas de deposición dentro del mismo.

En este apartado no sólo se describen los depósitos existentes, sino también cual es su dinámica actual.

Los sedimentos encontrados se pueden dividir, de cara a este estudio, en dos grupos, aquellos depósitos previos a la construcción y llenado del embalse, y aquellos sedimentos de colmatación que se han depositado con posterioridad a la construcción del mismo.

Como característica básica de los dos tipos de sedimentos debe tenerse presente, siempre, que los previos a la construcción se encuentran consolidados y que los posteriores están sin consolidar.

#### **Morrenas glaciares**

Los sedimentos glaciares de tipo morrénico corresponden a acumulaciones heterométricas de arcillas y arenas con clastos angulosos y bloques de dimensiones variables y aspecto general

desorganizado. Estos depósitos están cubiertos por las aguas del embalse y tienen muy escaso desarrollo, no habiéndose detectado su presencia en los sondeos realizados durante la presente campaña de investigación.

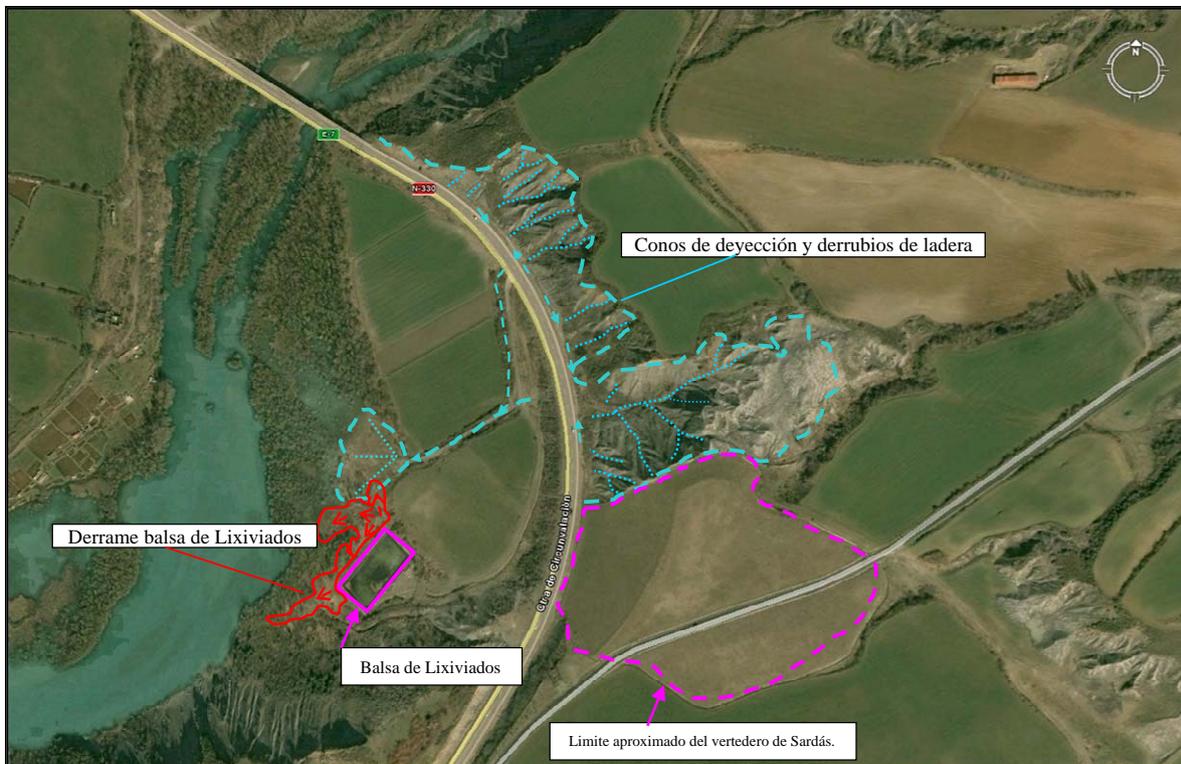
Actualmente estos depósitos están situados en el fondo del embalse por lo cual su dinámica es inexistente, permanecen inalterados.

**Conos de deyección y derrubios de ladera**

Corresponden a las acumulaciones de clastos, cantos y bloques de dimensiones variables que se sitúan adosados a las vertientes o al pie de los principales relieves.

En la zona de estudio, adosados al embalse, se localizan varios de estos depósitos. El más importante se sitúa en la zona noreste. Este cono es el resultado de la denudación de las margas de Larrés. Consta de dos partes, una situada más al norte, que arranca en el puente de la N-330 sobre el Gállego y que se extiende hasta la cárcava o pequeño valle donde se ubica el vertedero de Sardas y otra que corresponde a la zona donde se ubica propiamente el vertedero de Sardas. Las dos zonas son cortadas actualmente por la traza de la N-330.

Figura 10: Detalle de los conos de deyección situados en el extremo NE del embalse y dinámica asociada.





Las dos zonas están constituidas fundamentalmente por material fino de naturaleza calcárea, dado que el material de origen es margoso. Este cono ha sido cortado durante las investigaciones realizadas.

La construcción de la N-330, y la ampliación posterior de la misma, supuso en su momento, una ampliación de la superficie expuesta de las margas, al realizarse en ellas un desmante de unos 30 m de altura. Esta ampliación y las canalizaciones realizadas, que desaguan en zonas más bajas, han supuesto un cambio en la dinámica superficial de la zona. Esto ha afectado fundamentalmente de dos formas: por un lado ha aumentado el aporte de material, al aumentar la superficie de material expuesta a la erosión, y por otro lado ha habido una variación en las zonas de deposición, como resultado de la realización de las estructuras de desagüe de escorrentía asociadas a la carretera y al vertedero de Sardas que ocupa la zona más al este.

En lo que respecta al aporte de sedimentos, se puede acudir a los trabajos realizados por diversos autores sobre la erosión en taludes de carretera y de ferrocarril en materiales margosos, en zonas con cantidades de lluvias similares y rango de temperaturas semejantes, que nos dan unas tasas de erosión en torno a 15 Ton por hectárea y año. Teniendo en cuenta una densidad del material erosionado de 1,6 Ton/m<sup>3</sup>, y una superficie de la zona de aporte de unas 0,5 hectáreas se puede estimar que el volumen erosionado es de unos 12 m<sup>3</sup> al año.

En cuanto a la situación de los nuevos puntos de evacuación, éstos han bajado considerablemente su cota, pasando a dos puntos concretos, y posteriormente canalizados sobre esta misma terraza.

En la figura 10 se reflejan esquemáticamente las zonas aporte y las zonas de deposición de los procesos indicados anteriormente.

Finalmente, en la zona media de la margen izquierda del embalse afloran las margas de Larrés, formando un largo frente de acantilados en las margas de hasta 30 m de altura, que dan lugar a una serie de pequeños abanicos aluviales que descargan sus sedimentos directamente en el vaso del embalse.

### **Gravas, arenas y limos. Aluvial**

Bajo esta denominación se han agrupado las acumulaciones, esencialmente de gravas, que aparecen en el cauce del río. Se trata de sedimentos gruesos formados por gravas arenosas polimícticas, heterométricas, redondeadas de tamaños variables de entre 2 y 30 cm de diámetro con escasa matriz arenosa. A veces presentan niveles de arenas gruesas de hasta 30 cm de espesor.

Su espesor varía entre menos de un metro y más de 12 metros. Este depósito se encuentra bajo el nivel de las aguas, y por debajo de los sedimentos de colmatación existentes en la actualidad, por lo que su dinámica actual es inexistente.

La permeabilidad de este depósito es, al igual que la de las terrazas, muy alta y se estima en torno a  $10^{-3}$  m/s.

### **Gravas, arenas, arcillas y limos. Terrazas bajas**

Estos depósitos se localizan en el actual fondo del embalse y en la mayor parte de la margen derecha del embalse.

Desde el punto de vista litológico, las terrazas están constituidas por gravas, arenas, arcillas y limos en diferente proporción, apareciendo mayoritariamente, gravas limosas con bastante arena de colores marrones. Los clastos, al igual que en los depósitos aluviales, son redondeados, heterométricos y de composición polimíctica. Sus tamaños suelen ser menores que los del aluvial y la distribución de tamaños suele ser más completa. Presentan una mayor cantidad de matriz limo-arenosa que el depósito aluvial.

La permeabilidad de estos materiales es algo menor que la del aluvial, estimándose en el entorno de  $10^{-4}$  m/s.

En las condiciones actuales las terrazas adosadas al embalse, prácticamente no sufren procesos erosivos, ya que la mayor parte están bajo las aguas del mismo y cubiertas por los sedimentos actuales, y a que la parte expuesta sólo sufre procesos erosivos en momentos puntuales, cuando se producen grandes crecidas y el embalse abre las compuertas.

Figura 11: Fotografía de un corte en una terraza baja en Sabiñánigo.





## **Sedimentos actuales**

Dada su importancia de cara al presente estudio se han diferenciado de forma particular los sedimentos existentes actualmente en el fondo del embalse, y que se han depositado desde la construcción del mismo hasta la actualidad. Se denominarán como sedimentos de colmatación.

Se trata de sedimentos finos, fundamentalmente limos y arcillas plásticas de color grisáceo.

La columna general de estos sedimentos aparece como un bandeado centimétrico de arcillas y limos, en colores grises claros y oscuros, con abundantes niveles finos de color negruzco. Asimismo, aparecen esporádicas intercalaciones de arenas finas y arenas gruesas.

Dentro de estos sedimentos es normal encontrar restos carbonosos y restos de árboles de diferentes tamaños, ramas y troncos.

Se trata de sedimentos no consolidados de carácter fino. Su permeabilidad se ha estimado en el entorno de  $10^{-6}$  m/s.

En cuanto al espesor de los sedimentos los informes anteriores indican que el embalse ha recibido unos 780.000 m<sup>3</sup> de sedimentos desde su construcción, determinando un espesor de sedimentos de entre 3,2 y 5,1 m.

### **4.4 Hidrogeología**

De los materiales presentes en la zona, terciarios y cuaternarios, solamente se toman en consideración como horizontes acuíferos los materiales cuaternarios.

El sustrato terciario no se considera como acuífero dada su baja permeabilidad y su baja transmisividad, que hacen prácticamente imposible su explotación.

Los materiales cuaternarios serían explotables dada su alta permeabilidad, transmisividad y a que poseen altos coeficientes de almacenamiento, pero en la zona de estudio los materiales cuaternarios se hayan cubiertos en su mayor parte por el embalse y están situados a orillas del río por lo que no es normal que se realicen captaciones de agua subterránea en la zona.

En lo que respecta a los patrones del flujo subterráneo en la zona se puede afirmar que, por regla general, el flujo subterráneo se dirige hacia el cauce del río.

## 5 FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN

Los trabajos de campo realizados para la presente investigación (véase capítulos sucesivos), así como los documentos previos disponibles, identifican como principales focos potenciales de afección al embalse el vertedero de Sardas, las instalaciones industriales de su margen derecha, que han sido descritas escuetamente en el apartado de *Antecedentes*, y en menor medida, una serie de colectores y acequias que vierten al embalse desde la zona industrial de Sabiñánigo, y la depuradora de lixiviados de Sardas.

### *Vertedero de Sardas y depuradora de lixiviados*

El vertedero de Sardas se sitúa en la zona noreste del embalse, a unos 250 m del mismo, al otro lado de la traza de la N-330. Posee dos balsas que recogen los lixiviados generados en el vertedero y que se sitúan a unos 60 m del borde del agua. Las balsas ocupan una superficie de unos 2.000 m<sup>2</sup> cada una.

Respecto de los lixiviados del vertedero de Sardas, el estudio realizado por TPA (1991) concluye que: “el problema generado hacia el embalse se deriva de que solo una pequeña parte de los lixiviados se encauzan hacia la balsa del vertedero de Sardas, siendo además la fracción menos preocupante desde el punto de vista de concentración de HCH, el resto se infiltra al terreno”.

El resultado de ésta afección se observó en los sedimentos del embalse situados frente al vertedero y en de las propias aguas del embalse, que superaron en seis veces los niveles de referencia utilizados en dicho informe (0,5 µg/l) para la suma de isómeros de HCH.

El vertedero fue sellado definitivamente en 1997. Sin embargo a principios del año 2009 se detectó la presencia de surgencias de lixiviado y HCH en fase libre en el talud localizado al pie del vertedero. Estas surgencias fueron captadas y almacenadas en las balsas construidas a tal efecto. Actualmente se vierte al embalse el lixiviado depurado procedente de las balsas del vertedero.

### *Emisarios y puntos de vertido*

El embalse de Sabiñánigo ha sido el receptor de las aguas residuales industriales vertidas. En su perímetro se han detectado diversos emisarios de las industrias situadas en el Polígono, algunos de los cuales siguen actualmente en activo, y otros están, aparentemente, fuera de uso.



En este escenario, es razonable suponer que los fangos del embalse contengan, al menos parte, de las sustancias vertidas con las aguas residuales.

Los principales emisarios se sitúan en la zona que los estudios anteriores denominan *Brazo de Inquinosa*. Se trata de una zona limitada por un brazo con forma de península que se sitúa frente a las instalaciones de la antigua planta de *Inquinosa*, cerrada en la actualidad. A continuación se describe cada uno de ellos.

- **EMISARIO Nº 1.** Antiguo emisario principal de *Industrias Aragonesas*. Según la información recopilada ha estado muy activo hasta mediados de los años 90; actualmente en desuso.
- **EMISARIO Nº 2.** Emisario actual de *Industrias Aragonesas*. Es un largo tubo de cemento de unos 30 cm. de diámetro que conecta con la salida de la depuradora y termina dentro de las aguas del embalse. Tiene actividad prácticamente continua y está situado en línea con el eje del batidor del decantador. Está normalmente a más de medio metro por debajo del nivel del agua y como a un metro ochenta respecto al nivel del camino.
- **EMISARIO Nº 3.** Situado en perpendicular con la farola del terreno de *Aragonesas* más próxima a *Inquinosa*, como a 25 metros de ésta. Aparentemente está en desuso.
- **EMISARIO Nº 4.** Emisario de color negro de *Inquinosa* que se sumerge debajo del agua en el pantano. Su parte superior aparece a 1,5 metros bajo nivel de la pista descendiendo unos 2,5 metros hasta el agua. No está activo.
- **EMISARIO Nº 5.** Es de cemento. Tiene 35 cm. de diámetro y sale por él agua clara sin olor. Recoge las aguas de riego de las huertas cercanas. Algo más arriba, en el fondo del brazo, existe un segundo emisario, más actual, con la misma función que éste.
- **EMISARIO “A”.** Emisario antiguo fuera de servicio desde antes de 1991 e interrumpido a nivel de la pared de *Inquinosa* próxima al camino perimetral del embalse. No es observable. Este emisario de *Inquinosa* se clausuró al construirse la pista.

La actividad de estos emisarios ha creado en el brazo de *INQUINOSA*, y en la zona de salida del mismo, una zona con presencia de metales pesados, disolventes y HCH.



## **6 TRABAJOS REALIZADOS**

En líneas generales, la presente investigación ha abarcado la ejecución de una campaña de recopilación de información previa y una campaña de campo. En la campaña de campo se han realizado un total de veintiséis (26) sondeos, seis (6) de ellos situados en el perímetro del embalse y veinte (20) en el vaso del mismo. En el Plano 6 del Anejo 1 se refleja la situación de las investigaciones realizadas.

En el laboratorio se han efectuado un total de 192 análisis químicos sobre las muestras recogidas, incluyendo 18 caracterizaciones conforme a la Decisión del Consejo Europeo 2003/33/CE, 32 analíticas de suelos conforme al RD 9/2005, 32 determinaciones del contenido en metales pesados, 38 paquetes analíticos "Geotest", 36 determinaciones del pH, 36 determinaciones de carbono orgánico total, 5 ensayos de ecotoxicidad y 12 determinaciones de la granulometría por sedimentación. Además, se han realizado 7 analíticas de aguas con el paquete analítico "Geotest".

Ya en gabinete se ha llevado a cabo la interpretación de los resultados obtenidos, desarrollando un modelo conceptual del funcionamiento del embalse.

Previamente al comienzo de los trabajos se ha elaborado el correspondiente Plan de Seguridad y Salud de acuerdo al RD 1627/1997.

Todos los trabajos se han desarrollado de acuerdo a los Procedimientos Internos del Área de Protección Ambiental de GEOCISA, los cuales se basan en protocolos de reconocido prestigio. En el Anejo A-6 "Procedimientos e Instrucciones" se enumeran los procedimientos e instrucciones de aplicación en la realización de los trabajos mencionados.

En los siguientes apartados se describe la metodología seguida para la ejecución de las diferentes tareas y las características de cada una de ellas.

### **6.1 Inventario de puntos de agua**

Se han consultado las bases de datos de diferentes organismos públicos, Confederación Hidrográfica del Ebro, Instituto Geológico y Minero, Diputación General de Aragón, Ministerio de Agricultura, etc. El resultado ha sido que no se han localizado puntos de agua accesibles en el entorno inmediato del embalse, ni puntos de aprovechamiento de las aguas subterráneas en la zona.

## 6.2 Inventario de puntos de vertido

Se ha actualizado el inventario de puntos de vertido de anteriores estudios, comprobándose el estado actual de los descritos en informes anteriores y añadiendo tres más: un colector que aparece en la zona del *Polígono de Fosforera*, una riera que desemboca en el *Brazo de Inquinosa*, y el punto de vertido de los efluentes tratados de las balsas de lixiviados del vertedero de Sardas. El colector del *Polígono de Fosforera* se ha mostrado especialmente activo durante el desarrollo de los trabajos de perforación de los sondeos del vaso del embalse.

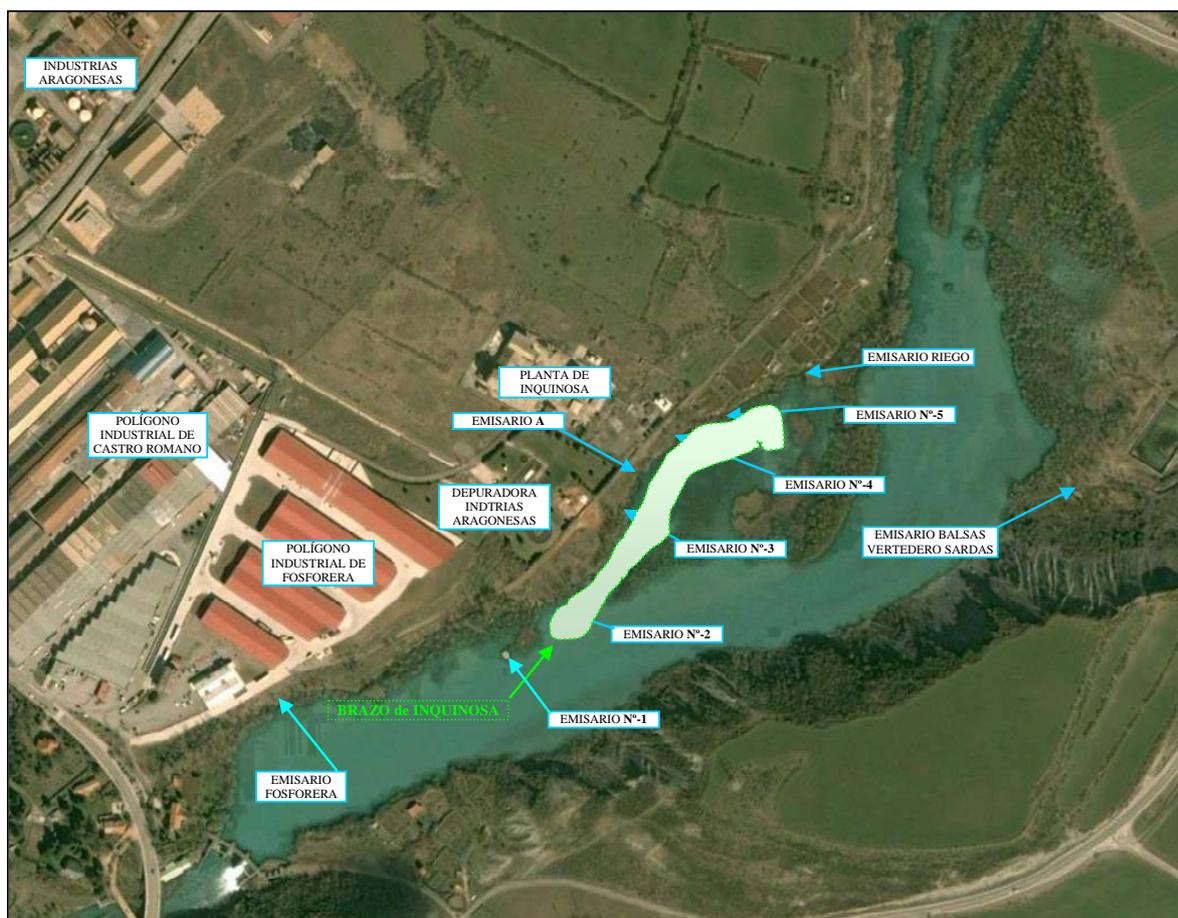
Durante el año 2.010, el Gobierno de Aragón ha instalado una depuradora portátil junto a las balsas de lixiviados de Sardas para el tratamiento de los efluentes del vertedero, previo a su vertido en el embalse. Los vertidos desde la depuradora se han iniciado durante el primer trimestre del año.

Así pues, a los 6 puntos de vertido descritos en el capítulo 5 se unen los tres siguientes:

- EMISARIO “Fosforera”. Es de cemento y tiene unos 20 cm de diámetro, apareciendo enterrado a unos 3 m de profundidad. Se trata, aparentemente, de un colector de drenaje de las aguas pluviales del *Polígono Industrial de Fosforera*.
- EMISARIO “Riego”. Se trata de la desembocadura de la pequeña riera que alimenta los huertos de la margen derecha del embalse y que tiene su origen en la terraza y en la zona industrial situada sobre ella al oeste del embalse.
- EMISARIO “Balsas del vertedero de Sardas”. Los efluentes depurados de las balsas de lixiviados del vertedero de Sardas se vierten al embalse en este punto.

En la figura siguiente se recogen todos los puntos de vertido inventariados, tanto los de informes anteriores como los añadidos en la actual investigación

Figura 12: Situación de los emisarios.



### 6.3 Estrategia de muestreo y diseño del Plan analítico

Para determinar el estado medioambiental actual del embalse y su entorno, así como la dinámica del mismo, se ha actuado en dos ámbitos. Por un lado se ha estudiado el área ocupada por las aguas y por otro, la zona adyacente perteneciente al dominio público hidráulico.

En el vaso del embalse se ha diseñado una campaña de muestreo sistemático mediante sondeos mecánicos a rotación con recuperación de testigo continuo, para poder recoger muestras de los sedimentos y del sustrato subyacente, evaluar su estado medioambiental, y actualizar la volumetría efectuada por URS en el año 2.009.

En el límite del embalse, pero ya en la zona no ocupada por las aguas, se ha diseñado una campaña orientada al estudio medioambiental de las aguas subterráneas que entran al mismo.

En este sentido, en la zona del dominio hidráulico se han realizado sondeos mecánicos a rotación con extracción de testigo continuo, centrándose en aquellas áreas situadas aguas

abajo de los potenciales focos de afección: la zona industrial de Sabiñánigo y el vertedero de Sardas.

Con respecto a la recogida de muestras y sus análisis correspondientes, se ha optado por realizar varios tipos de identificaciones dependiendo del objetivo perseguido:

- De cara a determinar el estado medioambiental de los sedimentos y el estado del sustrato se han realizado 28 analíticas que incluyen todos los parámetros indicados en el RD 9/2005, 34 determinaciones amplias de diferentes compuestos según el paquete analítico *Geotest* (paquete propio del laboratorio seleccionado para hacer las analíticas, que incluye más de 122 parámetros, tal y como se recoge en el Anejo 2 de este documento), 5 análisis de ecotoxicidad, y además un barrido de los metales pesados incluidos en decreto del Gobierno de Aragón sobre metales pesados en suelos, Orden 5/05/08.
- Para determinar el estado del agua en los nuevos puntos de vertido inventariados más significativos y de las aguas subterráneas en el entorno del embalse han sido analizadas 7 muestras líquidas en las que se han efectuado el paquete analítico *Geotest* incluyendo metales.
- Para evaluar los analitos presentes en los lixiviados de los sedimentos se han realizado 18 caracterizaciones según la directiva europea 2003/33/CE.
- Adicionalmente, para conocer las características granulométricas de los distintos materiales se han efectuado un total de 12 determinaciones de la curva granulométrica completa en 12 muestras de los sedimentos.

## **6.4 Ejecución de sondeos**

### *6.4.1 Sondeos en tierra*

Se ejecutaron un total de seis (6) sondeos, denominados ST-nº y distribuidos del siguiente modo:

- Cuatro (4) se situaron entre el límite del embalse y la zona industrial de Sabiñánigo.
  - (ST-5) entre el embalse y el *Polígono Industrial Fosforera*.
  - (ST-4) en las cercanías del Emisario nº-2, de *Aragonesas*.
  - (ST-3) en las cercanías de la antigua planta de *Inquinosa* junto al Emisario nº 4.
  - (ST-6) en la zona de huertas, cerca del final del *Brazo de Inquinosa* y cerca de



una riera proveniente de la zona industrial.

- Dos (2) sondeos se situaron en la zona próxima al vertedero de Sardas.
  - (ST-2) al norte de las balsas y del vertedero para buscar un “blanco ambiental” de la zona.
  - (ST-1) en el frente de salida teórico de los lixiviados del vertedero de Sardas.

En el Plano del Anejo 1 figura la situación de los sondeos ejecutados en esta campaña, y en la Tabla 1 de este informe se encuentra un resumen de las características generales de los sondeos realizados.

Los sondeos fueron ejecutados entre los días 30 de septiembre y 1 de octubre de 2.009 por la empresa *Geocodex*, a rotación con recuperación de testigo continuo en diámetros de 101 y 86 mm, y fueron revestidos en avance para evitar contaminaciones cruzadas.

Las perforaciones ejecutadas atravesaron todos los materiales de relleno y los cuaternarios hasta penetrar un mínimo de 1,5 m en el sustrato rocoso terciario inalterado, con objeto de comprobar el estado medioambiental del mismo. Se perforaron un total de 45,40 ml.

El material extraído se fue colocando en cajas porta-testigos procediendo a su registro litológico y fotografiado, recogiendo todas sus características litológicas, textuales y sus propiedades organolépticas (véase Anejo 3 “Registros y fotografías de sondeos”).

Durante la perforación, se procedió a realizar una medida de los gases mediante la técnica del *head-space* por cada metro de testigo extraído en la zona no saturada.

En cada sondeo fueron recogidas un mínimo de tres muestras del terreno en función de las características organolépticas de las mismas, para posteriormente seleccionar algunas de ellas para su envío y análisis en el laboratorio.

Tras la finalización de los sondeos, todos excepto ST-5 que no cortó el nivel freático, fueron equipados con tuberías piezométricas de PVC medioambiental de 2” de diámetro. El anular fue rellenado con gravilla silíceo calibrada y se realizó un sello de bentonita en los metros superiores.

Tras la colocación de las tuberías, los piezómetros fueron convenientemente desarrollados para eliminar las impurezas procedentes de la perforación y permitir la entrada y circulación de agua subterránea a través de los mismos.

En la tabla siguiente se resumen las características y las muestras recogidas en los sondeos realizados en el exterior del embalse.

Tabla 1. Características generales de los sondeos realizados en tierra alrededor del embalse.

Sondeo	Coordenadas UTM (m)			Long (m).	Diámetro (mm)	Espesores de los materiales (m)			Piezómetros	
	X	Y	Cota			Finos - Relleno	Grava	Roca	Ciego (m)	Ranurado (m)
ST-1	718.195,87	4.710.536,71	765,8	9,50	101-86	1,7	2,4	1,5	0,00-1,50	1,50-8,50
ST-2	718.171,64	4.710.771,83	768,3	11,50	101-86	0,3	4,6	1	0,00-2,00	2,00-10,50
ST-3	717.753,87	4.710.462,17	768,381	6,00	101-86	0,6	3,7	1,6	0,00-0,50	0,50-5,50
ST-4	717.639,56	4.710.333,43	766,354	7,00	101-86	1,35	3,85	1,6	0,00-0,50	0,50-5,50
ST-5	717.498,97	4.710.268,79	772,638	6,00	101-86	3,4	0,8	1,8	-	-
ST-6	717.876,10	4.710.603,39	771,497	5,40	101-86	0,4	2,6	1,5	0,00-1,00	1,00-5,50

#### 6.4.2 Sondeos en el embalse

Para el estudio del vaso del embalse se han realizado 20 sondeos. Los sondeos fueron realizados entre los días 30 de noviembre y 18 de diciembre de 2009, por la empresa GEHYM.

Se ejecutaron desde una plataforma flotante (véase Anejo 5: Reportaje fotográfico). Fueron perforados en diámetros de 101 mm y 86 mm, revistiéndose en avance para evitar la contaminación cruzada. La parte correspondiente a los sedimentos fue recogida en camisas transparentes de dos metros de longitud mediante la hincas a presión de una batería de perforación adaptada a tal efecto. Estas camisas fueron posteriormente enviadas a las instalaciones de GEOCISA en Madrid, permaneciendo inalterado el sedimento contenido en ellas hasta su apertura.

Las perforaciones alcanzaron un total de 166,70 ml, y atravesaron los materiales hasta penetrar un mínimo de 1,5 m por debajo de los sedimentos de colmatación, en las gravas cuaternarias, con objeto de comprobar el estado medioambiental de los depósitos cuaternarios infrayacentes. En 6 de ellos, además, se alcanzó el sustrato terciario.

Del mismo modo que en los sondeos de tierra, el material extraído se fue colocando en cajas porta-testigos procediendo a su registro litológico y fotografiado, recogiendo todas sus características litológicas, textuales y sus propiedades organolépticas (véase Anejo 3 "Registros y fotografías de sondeos"). Las camisas transparentes fueron cuidadosamente abiertas en Madrid, fue realizado el registro litológico de su contenido, así como de sus propiedades organolépticas, fotografiadas y recogidas las muestras correspondientes.

Los sondeos se denominaron SE-nº y fueron distribuidos por todo el vaso del embalse desde la cerrada hasta unos 200 m aguas arriba de la balsa del vertedero de Sardas en una malla uniforme.

La siguiente tabla recoge un resumen de las características generales las perforaciones realizadas en el vaso del embalse.

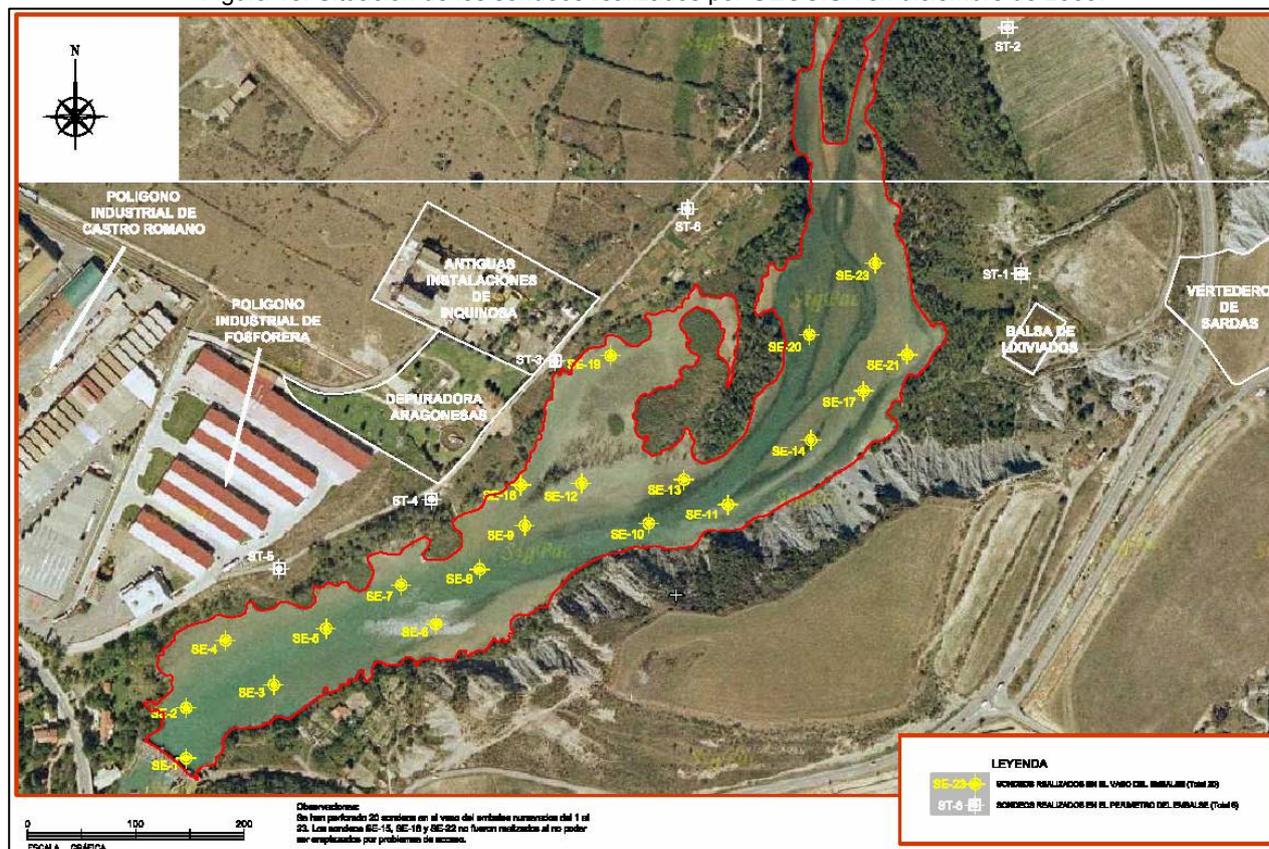
Tabla 2. Características generales de los sondeos realizados en el vaso del embalse.

Sondeo	Coordenadas UTM (ED50)			Calado (m)	Longitud (m)	Espesores (m)			
	X	Y	Z			Sedimento		Grava	Roca
						Total	PVC		
SE-1	717.413,08	4.710.092,62	764	8,20	7,25	4,80	2,20	0,75	1,70
SE-2	717.413,00	4.710.139,42	764	2,15	17,00	3,10	3,10	12,70	1,20
SE-3	717.494,00	4.710.161,00	764	2,70	10,50	7,60	7,30	1,90	1,00
SE-4	717.449,31	4.710.202,09	764	1,80	13,50	11,40	6,80	1,00	1,10
SE-5	717.542,37	4.710.213,31	764	2,80	10,50	8,60	6,85	0,90	1,00
SE-6	717.643,63	4.710.217,46	764	2,10	8,00	6,50	6,05	1,50	0,00
SE-7	717.611,78	4.710.253,80	764	2,75	9,15	7,55	7,35	0,70	0,90
SE-8	717.684,22	4.710.268,22	764	3,15	8,00	6,20	5,35	1,80	0,00
SE-9	717.725,85	4.710.309,03	764	1,75	7,75	6,15	6,05	1,60	0,00
SE-10	717.840,28	4.710.310,98	764	3,15	6,10	4,60	4,55	1,50	0,00
SE-11	717.913,37	4.710.328,42	765	1,80	7,10	5,60	5,45	1,50	0,00
SE-12	717.778,18	4.710.348,10	765	1,05	8,00	6,45	6,25	1,55	0,00
SE-13	717.872,91	4.710.351,63	765	1,30	7,25	5,75	3,90	1,50	0,00
SE-14	717.989,98	4.710.388,34	765	2,30	7,00	5,40	4,85	1,60	0,00
SE-17	718.038,46	4.710.434,41	765	2,15	5,15	3,65	2,95	1,50	0,00
SE-18	717.721,98	4.710.346,68	765	1,85	11,10	9,55	8,10	1,55	0,00
SE-19	717.804,85	4.710.466,86	765	1,85	9,15	7,65	6,85	1,50	0,00
SE-20	717.988,42	4.710.486,47	765	2,70	5,05	3,55	2,60	1,50	0,00
SE-21	718.078,77	4.710.467,77	765	1,50	5,15	2,45	2,45	2,70	0,00
SE-23	718.049,35	4.710.552,85	765	1,30	4,00	2,50	2,50	1,50	0,00

Los sondeos SE-15, SE-16 y SE-22, incluidos en el Plan de muestreo diseñado inicialmente, no fueron ejecutados por no poder ser situados en los puntos previstos, debido a que la profundidad de la lámina de agua era menor de 0,80 m, lo que impidió el emplazamiento de la plataforma flotante.

Antes y después del emplazamiento de esta plataforma, ésta fue limpiada cuidadosamente y las aguas de lavado fueron tratadas convenientemente en aplicación de las medidas de protección contra la propagación del mejillón cebra.

Figura 13: Situación de los sondeos realizados por GEOCISA en diciembre de 2009.



## 6.5 Toma de muestras

### 6.5.1 Muestras sólidas

Durante la perforación de los sondeos se recogieron muestras de suelo para su posterior análisis en el laboratorio. Las muestras fueron almacenadas en los tarros correspondientes con cierre hermético, y depositadas en neveras portátiles refrigeradas hasta su llegada al laboratorio.

Las camisas transparentes fueron enviadas al laboratorio de GEOCISA en Madrid, donde se procedió a su apertura.

La selección de las muestras fue realizada atendiendo a sus características organolépticas y, cuando no ha sido posible, se ha realizado un muestreo sistemático.

En el Anejo 2 se incluyen diferentes tablas donde se recogen todas las muestras recogidas, tanto en los sondeos realizados en el perímetro del embalse como en el vaso.

A modo de resumen, en los sondeos realizados en tierra (ST) se han recogido 12 muestras de suelo, 1 correspondiente a la zona más superficial en el entorno de las balsas de lixiviados del



vertedero de Sardas, 5 de las gravas de la terraza inferior del Gállego (1 por sondeo), y 6 del sustrato del fondo de los sondeos.

En los sondeos realizados en embalse (SE) se realizó un muestreo exhaustivo de toda la columna litológica. En cada sondeo, de forma general, se ha recogido: una muestra superficial de los sedimentos de colmatación, una de la base del depósito, y un mínimo de dos en la zona central. De las gravas cuaternarias se han recogido, al menos, dos muestras: una a techo de la serie y otra en el final del sondeo. El total de muestras recogidas ha sido de 189, de las cuales 41 proceden de las gravas cuaternarias y el resto, 148, de los sedimentos.

Además se ha recogido, al menos una muestra compuesta de cada sondeo para el análisis del comportamiento de los lixiviados de los sedimentos de colmatación.

#### *6.5.2 Muestras líquidas*

En cada uno de los piezómetros instalados en tierra se ha tomado una muestra de agua subterránea, ST-1, ST-2, ST-3, ST-4 y ST-6, mediante un tomamuestras tipo bailer de un único uso.

Previamente a la toma de la muestra se procedió al purgado y limpieza del piezómetro. La muestra fue almacenada convenientemente, y conservada refrigerada hasta su recepción en el laboratorio.

El día 17 de diciembre, durante los trabajos de campo, se recogieron también varias muestras líquidas procedentes de dos de los nuevos emisarios inventariados en este estudio: del colector del *Polígono Fosforera*, y de la riera que vierte al embalse.

Posteriormente, con objeto de contrastar los resultados analíticos obtenidos de estas dos muestras, la CHE ha muestreado y analizado nuevamente estos dos puntos durante el mes de abril de 2010.

Asimismo, se ha recogido una muestra del agua intersticial contenida en los sedimentos de los sondeos SE-8 y SE-9, que ha sido denominada como SX.

En el Anejo 2 figuran varias tablas con las características de los puntos de muestreo de las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

### **6.6 Mediciones del nivel freático**

Durante la campaña de campo y una vez terminada la misma, se procedió a realizar mediciones de la evolución de la profundidad del nivel freático.

En la tabla siguiente se muestran los resultados obtenidos.

Tabla 3. Profundidad del nivel freático (NF)

Sondeo	Longitud	Prof del N.F (m) 02-Sept-2009	Prof del N.F (m) 30-Oct-2009
S-1	9,50	1,63	-
S-2	11,50	5,35	-
S-3	6,00	3,33	3,50
S-4	7,00	1,32	2,05
S-5	6,00	-	3,75
S-6	5,40	3,36	4,11

## 6.7 Topografía

El 30 de octubre de 2.009 se realizó un levantamiento topográfico de los piezómetros situados en el entorno del embalse, cuyos resultados figuran en las tablas del Anejo 2.

Los sondeos realizados en el embalse fueron situados mediante un GPS, tomándose sus coordenadas UTM con una precisión de 2 m. La cota de los sondeos se determinó mediante consulta al personal encargado del embalse, en cuya cabina de control se registraba la cota absoluta del nivel del agua en cada momento, manteniéndose estable durante toda la campaña de perforación en  $674,90 \pm 0,20$  msnm.

## 6.8 Ensayos de laboratorio

Las muestras recogidas han sido enviadas al laboratorio de GEOCISA en Madrid, donde fueron realizados los distintos ensayos programados. En las tablas del Anejo 2 se enumeran los parámetros analizados en cada determinación, junto con los límites de detección aplicados.

En resumen, se han realizado más de 200 determinaciones analíticas de suelos y aguas, incluyendo 18 caracterizaciones del lixiviado, 5 ensayos de ecotoxicidad mediante el bioensayo de inhibición de la movilidad en *Daphnia Magna* –*microtox*-, 12 determinaciones de la curva granulométrica completa -tamizado y sedimentación según la norma UNE 103-102-, y más de 70 barridos y determinaciones de compuestos orgánicos y de determinaciones del contenido en metales pesados.

## 7 CRITERIOS DE VALORACIÓN

En este capítulo se recogen los criterios de valoración que se emplearán para esta investigación. Los niveles específicos para cada uno de los parámetros en estudio se muestran en distintas tablas del Anejo 2.



### Para los sedimentos

Los criterios de valoración normalmente utilizados para evaluar los suelos con sustancias contaminantes son los reflejados en el Real Decreto 9/2005 por el que se establece la *relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo, y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados*.

Sin embargo, en su Artículo 2, este RD establece que a efectos de su aplicación se entiende por:

- **SUELO:** “la capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso. No tendrán tal consideración aquellos permanentemente cubiertos por una lámina de agua superficial”.

Conforme a estas consideraciones, el **RD 9/2005 no sería de aplicación en el ámbito en estudio** en tanto en cuanto los sedimentos acumulados en el embalse se encuentran cubiertos de agua de forma continua.

No obstante, de cara a establecer unos valores para comparar los resultados analíticos obtenidos, **y sin que tengan ninguna implicación legal**, se emplearán los niveles definidos en dicho Real Decreto, y además se considerarán los más restrictivos de los definidos para “Otros usos del suelo” y para la “Protección de los ecosistemas” para los organismos acuáticos.

En el caso de los metales (no incluidos en el RD 9/2005), se empleará la Orden de 5 de mayo de 2008 emitida por el Gobierno de Aragón por la que se *procede al establecimiento de los niveles genéricos de referencia para la protección de la salud humana de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad Autónoma de Aragón*.

### Para los suelos

Para valorar las concentraciones de las sustancias que se registren en los suelos en las perforaciones efectuadas en zonas externas al embalse, se tendrán en consideración los niveles establecidos en el *Real Decreto 9/2005* para los compuestos orgánicos considerando igualmente los valores más restrictivos entre los definidos para “Otros usos del suelo” y para la “protección de los ecosistemas”, y la *Orden de 5 de mayo de 2008* para los metales.

En este caso sí sería de aplicación ambos documentos normativos.



### Para las aguas subterráneas

Para valorar la calidad de las aguas subterráneas se contemplará el *Real Decreto 1514/2009, de 2 de octubre, por el que se regula la protección de las aguas subterráneas contra la contaminación y el deterioro*, y para aquellas sustancias no incluidas en el mencionado RD se tendrán en consideración los valores de intervención de la legislación holandesa de febrero de 2000, actualizados en 2007, niveles reconocidos a nivel internacional y habitualmente empleados en España ante la ausencia de una normativa completa, pero que no tienen valor legal en nuestro país.

### Aguas superficiales

Con respecto a las aguas superficiales se utilizará la Directiva 2008/105/CE de 16 de diciembre de 2008, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

## **8 RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN**

En este apartado se incluyen los resultados obtenidos dentro del alcance de la presente investigación.

En primer lugar se describirán las litologías encontradas y las observaciones organolépticas realizadas durante la ejecución de los sondeos, y después se resumirán los resultados de los ensayos de laboratorio realizados.

### **8.1 Litología y observaciones organolépticas**

En este apartado se describe e interpreta el tipo de material registrado.

Los materiales encontrados corresponden a: el sustrato terciario que aflora en los laterales del embalse y que constituye el fondo impermeable del embalse; los materiales cuaternarios de origen aluvial que se encontraban en la superficie del terreno en el momento de construirse el embalse, y los sedimentos recientes de colmatación del mismo.

#### *8.1.1 Sustrato terciario*

El sustrato terciario ha sido cortado en todos los sondeos perimetrales, (ST-nº) y en 6 de los sondeos del embalse, SE-1, SE-2, SE-3, SE-4, SE-5 y SE-7.

Está formado por las Margas de Larrés y las Areniscas de Sabiñánigo. Las primeras ocupan la parte norte del vaso y las segundas la parte sur. Estas dos formaciones constituyen el sustrato rocoso del vaso del embalse.

El comportamiento hidrogeológico de este sustrato es el de un medio bastante impermeable, siendo el diferencial de permeabilidad con las formaciones superiores cuaternarias de más de dos órdenes de magnitud.

El movimiento del agua en este medio se produce a favor de la fracturación, habiéndose observado en los afloramientos situados en la cola del pantano, en la formación Margas de Larrés, diversas surgencias de agua producidas en los puntos donde se intersectan las capas de arenisca intercaladas en las margas y diversas fallas.

### **Margas de Larrés**

Se trata de una potente formación de margas arenosas gris-azuladas con diferentes grados de cementación. En profundidad se compactan muy rápidamente, teniendo el espesor de la zona alterada solamente medio metro de espesor como máximo. La perforación de las mismas se ha realizado tratando el material como roca, lo que da una idea de su consistencia. Sobre la base de la bibliografía consultada, su porosidad se encuentra en torno a un 10% y su permeabilidad es muy baja, estando su  $K$  en el entorno de  $10^{-8}$  m/s o menor.

El comportamiento hidrogeológico de esta unidad se corresponde con un acuitardo.

### **Areniscas de Sabiñánigo**

Afloran únicamente en la parte sur del embalse, en la zona de la cerrada del mismo. Litológicamente son areniscas calcáreas de grano fino-medio cementadas. Su porosidad es prácticamente nula y su permeabilidad muy baja, estimándose su  $K$  en el entorno de  $10^{-8}$  m/s según la bibliografía, siendo esta de tipo secundario por fracturación.

De cara al presente estudio el punto de mayor interés de estos materiales radica en su baja permeabilidad, la cual limita la migración de las sustancias a través de las aguas subterráneas.

Ninguno de los materiales del sustrato ha presentado alteraciones de sus propiedades organolépticas.

#### **8.1.2 Cuaternario**

El Cuaternario está formado por el depósito aluvial del fondo del cauce y la terraza baja del río Gállego.

Litológicamente ambos depósitos son muy semejantes, se trata de un conjunto de gravas heterométricas de cantos redondeados y origen polimíctico, materiales tipo GW y GM en la clasificación del sistema unificado. La única diferenciación entre estos depósitos la constituye la



matriz, que en las terrazas es de tipo limo-arcilloso con bastante arena y que en los depósitos aluviales es escasa y de tipo arenoso. El tamaño de los cantos varía normalmente entre los 30 cm y los 2 cm.

No se ha podido realizar una distinción clara entre estos dos depósitos debido a que la perforación se ha realizado en medio saturado en agua, motivando que en muchas ocasiones la recuperación de la matriz fuera muy baja.

La bibliografía consultada indica que la permeabilidad de estos depósitos es alta, oscilando entre  $1 \cdot 10^{-2}$  y  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

El espesor de los depósitos cuaternarios es difícil de evaluar, sobre todo al encontrar un depósito aluvial grueso. En los sondeos realizados en el embalse se han llegado a cortar 12,70 m de gravas en SE-2, estando los espesores en las demás perforaciones entre 0,70 m y 4,6 m. El espesor medio puede estimarse en unos 8 m, si bien esta estimación no es significativa, ya que la distribución de los espesores de gravas dependerá de la situación concreta de cada PDM en la zona de estudio, en función de la distancia al antiguo cauce del río y de la existencia, o no, de aluvial o terraza en ese punto.

#### *Propiedades organolépticas.*

El color de las gravas es normalmente gris, adquiriendo en profundidad tonos marrones. Este color puede ser natural, ya que el área fuente está formada, en parte, por margas grises. Se han detectado puntualmente la existencia de zonas negruzcas, bien por el contenido en materia carbonosa o bien por ser niveles de suelo vegetal.

En cuanto a la textura, no se ha apreciado la existencia de indicios de afección.

Únicamente se han detectado puntualmente zonas que desprenden ligero olor a disolventes, situadas a techo de las gravas del sustrato en los sondeos SE-1, SE-18, SE-20 y SE-21.

#### *8.1.3 Sedimentos de colmatación*

Se trata de los materiales depositados en el embalse desde su construcción y que han ido colmatando el mismo.

Son, fundamentalmente, de granulometría fina. Se trata de limos y arcillas con intercalaciones de niveles de arenas finas y esporádicamente medias. En algunos de los sondeos se han detectado ocasionalmente niveles de gravas finas.

Los sedimentos presentan colores grises claros, grises oscuros y negruzcos, agrupándose

según la secuencia típica de los depósitos de los lagos o de medios pantanosos. En estos, cada año se forma una secuencia deposicional constituida por dos o tres niveles:

- Un nivel inferior, de carácter más grueso, generado en momentos de precipitación y gran aporte de sedimentos, formado por arenas finas o medias, dependiendo de la energía del medio en ese momento. En años con escasas lluvias este nivel puede no existir.
- Un nivel intermedio, formado por limos y arcillas grises consecuencia de la sedimentación en épocas de menor precipitación y por tanto menor energía del medio.
- Un nivel superior, de color más negro, con abundante materia orgánica, resultado de la escasa sedimentación producida en la época de estiaje que, junto con el aumento de la temperatura, hace que la materia orgánica que se decanta sobre los lodos se oxide y tome el color negro típico de la misma.

Figura 14: Fotografía de los sedimentos del fondo del embalse.



La permeabilidad de este depósito se estima como muy baja, del orden de  $10^{-6}$  m/s,

#### Propiedades organolépticas

Los sedimentos encontrados tienen colores grises ya que el área fuente está constituida por margas grises. Por ello, sólo es posible diferenciar la alteración de color de las bandas negras de cada una de las secuencias deposicionales existentes debido, parcialmente a la oxidación de la materia orgánica existente en estos niveles, y parcialmente a la existencia de lixiviados.

Los sedimentos desprenden principalmente olor a materia en descomposición, y puntualmente se ha detectado un ligero olor a disolventes, principalmente en los sondeos realizados en el *Brazo de Inquinosa*.

### Datación de los sedimentos.

Se ha realizado una aproximación de la datación de los sedimentos. Para ello es necesario, en primer lugar, determinar la existencia fehaciente y segura de eventos deposicionales concretos cuya relevancia quede registrada en la secuencia sedimentaria.

En este caso se trata de la gran crecida registrada en el año 1.996, que ha dejado una capa de arenas gruesas con cantos de unos 20 cm de espesor. Esta capa se reconoce en la mayoría de los sondeos, encontrándose a 1,80 m de profundidad, dependiendo de la zona del pantano investigada.

Sobre la base de las observaciones anteriores, se constata como cada una de las distintas secuencias deposicionales unitarias tiene unos 12 cm de espesor medio, por lo que se puede decir que cada año se han depositado en torno a unos 12 cm de sedimentos.

Así pues, la profundidad del nivel guía coincide con el tiempo transcurrido y el espesor anual depositado; 12 cm al año entre 1.996 y 2.009 que hacen un espesor de unos 1,70 m. Por lo tanto, podría hacerse una estimación preliminar de la edad de aproximada de cada nivel en los sondeos mediante la siguiente formula:

$$\text{Año sedimentación} = 2.009 - (\text{Profundidad en cm} / 12)$$

## 8.2 Ensayos granulométricos

De cara a determinar con precisión el tipo de sedimentos encontrados se han realizado 12 ensayos de determinación de la curva granulométrica. En la tabla siguiente se resumen los resultados obtenidos.

Tabla 4: Caracterización granulométrica de los sedimentos de colmatación.

Muestra		% Gravilla	% Arena	% Limo	% Arcilla	Clasificación Sistema Unificado
Designación	Prof. (m)					
S-3 D-5	2,60-2,80	2,53	36,94	55,91	4,62	ML
S-5 D-4	2,00-2,05	2,85	87,72	8,50	0,93	SM
S-7 D-5	3,50-3,60	0	95,22	4,30	0,48	SW
S-8 D-4	1,00-1,10	0	1,21	80,09	18,70	ML
S-10 D-4	1,30-1,50	0	7,96	76,86	15,18	ML
S-11 D-5	2,10-2,15	0	57,66	39,12	3,22	SM
S-12 D-5	5,20-5,40	0,94	62,66	32,80	3,60	SM
S14 D-9	4,80-5,00	0	40,00	52,50	7,50	ML
S-18 D-8	4,50-4,60	0	8,20	80,40	11,40	ML
S-19 D-7	4,20-4,30	1,11	11,29	68,79	18,81	ML
S.20 D-1	0,50-0,70	0	3,71	84,31	11,98	ML
S-23 D-1	0,70-1,10	0	7,62	82,97	9,41	ML

Los resultados indican que los sedimentos son materiales tipo ML y SM, y algunos SW. Es decir, limos arcillosos y arenas muy finas homométricas, arcillas limosas, arenas arcillosas y arenas limosas con cantidades variables de finos. En general, se trata de materiales finos homométricos. Las arcillas y los limos son materiales depositados por decantación, y las arenas finas son materiales depositados en regímenes de flujo tranquilos.

### 8.3 Dinámica del embalse

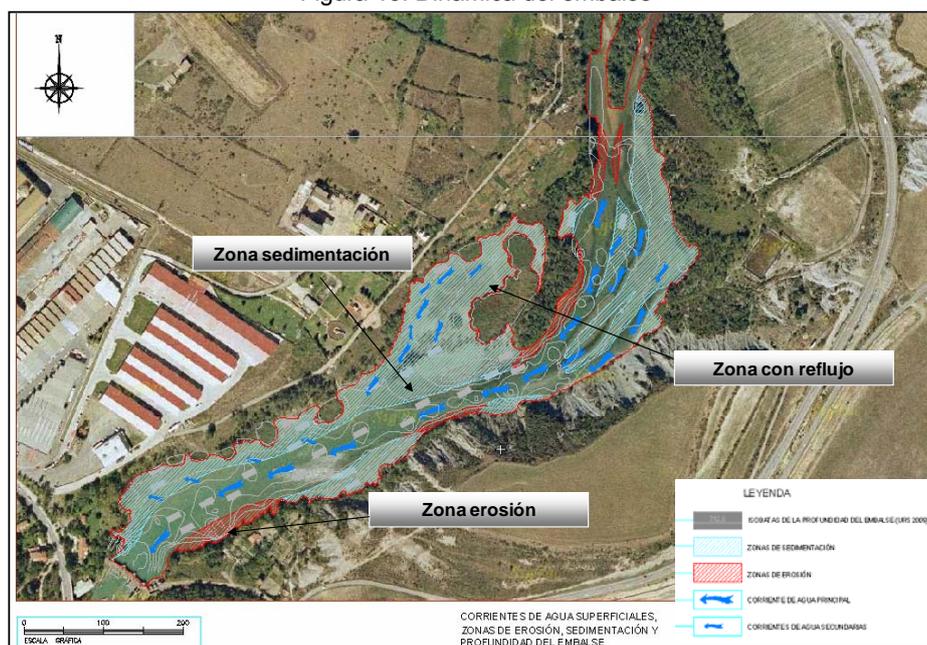
De cara a la delimitación de las zonas con sustancias orgánicas y/o metales, se ha tratado de establecer cual es la dinámica deposicional del embalse.

Los planos del Anejo-1 utilizan como base una fotografía aérea del SIGPAC, tomada en momentos de estío y en la cual se diferencian claramente el cauce principal, los cauces secundarios, las barras y las zonas de sedimentación.

El agua en el embalse circula principalmente por el antiguo cauce del río, apreciándose la existencia de varios cauces secundarios de los cuales destaca el existente en la zona de la balsa de lixiviados del vertedero de Sardas, por cuyo borde se genera uno de estos cauces secundarios que podría arrastrar los sedimentos y los lixiviados hacia el centro del río (los trabajos realizados en 2.009 por URS determinan una batimetría en la cual se refleja la afirmación anterior -véase dicha batimetría en el Plano 4 del Anejo 1-).

En el Plano 4 (cuya imagen se muestra simplificada a continuación para facilitar la comprensión de la valoración realizada), refleja la dinámica actual.

Figura 15. Dinámica del embalse



Como se aprecia en la fotografía existe una gran zona de acumulación de sedimentos situada en la margen derecha del cauce y a la que llegan los sedimentos procedentes del *Brazo de Inquinosa*, y los arrastrados por el río. Asimismo, se distinguen varias zonas de deposición situadas en la margen izquierda.

En la zona del vertedero de Sardas existe un régimen deposicional mixto. Por un lado, se encuentra la zona de los cauces secundarios que conducen los sedimentos hacia el cauce principal, una parte de los cuales son depositados parcialmente en las áreas de sedimentación de la margen izquierda, y por otro lado las zonas de sedimentación en las cuales se depositan tanto los materiales procedentes de la zona del vertedero y de los badlands de la carretera, como los aportados por el río desde zonas superiores.

La dinámica en el *Brazo de Inquinosa* presenta algunas variaciones relevantes. Es una zona en la cual no existe un cauce principal que aporte agua de forma continua, por lo que a priori no deberían existir aportes de sedimentos significativos, excepto los de los vertidos realizados por la depuradora de *Energía e Aragonesas* y la pequeña riera que se utiliza para regar los huertos de la zona derecha del embalse.

En esta zona el flujo principal se dirige, paralelo al borde del embalse, hacia el antiguo cauce del río. El flujo de agua es poco intenso, bastante uniforme, y está ligado a la variación del nivel de agua existente en el embalse. La dirección de flujo se invierte en los momentos de llenado, por lo que actúa como un “fondo de saco”, impidiendo que los sedimentos salgan de ella y funcionando principalmente como zona de acumulación. Prueba de ello es el aumento constante de la superficie de cañizo existente en la zona.

Los sedimentos que salen del *Brazo de Inquinosa* se depositan en el lado derecho del embalse enfrente del *Polígono Industrial de Fosforera* y de *Castro Romano*.

#### **8.4 Resultados de los ensayos de laboratorio**

En este apartado se incluye un resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio realizados en las muestras seleccionadas dentro de la presente investigación. En el Anejo 4 se incluyen los boletines del laboratorio, con las técnicas y los procedimientos de análisis empleados.

En las tablas resumen incluidas a continuación, y debido a su extensión, sólo se reflejan aquellos parámetros que han dado resultados por encima del umbral de detección. Las tablas completas con los resultados se encuentran recogidas en el Anejo A-2. En cada tabla se han incluido los niveles de referencia considerados.

#### 8.4.1 Ensayos realizados sobre suelos y sedimentos

Las tablas de las páginas siguientes recogen los resultados obtenidos en los análisis realizados sobre las muestras de los sondeos realizados en tierra y en el interior del embalse

Tabla 5. Resultados de los análisis realizados en las gravas cuaternarias de los sondeos de tierra (mg/kg)

INVESTIGACIÓN	ST-1 D-1	ST-1 D-2	ST-2 D-1	ST-3 D-1	ST-4 D-1	ST-6 D-1	Valor de ref: RD 9/2005	
							Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas (Organismos acuáticos)
Prof. (m)	1,00-1,30	7,30-7,50	7,90-8,00	4,10-4,20	4,60-4,70	1,50-1,70		
Material	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza		
<b>TPH</b>	N.D.	15	N.D.	9,4	N.D.	N.D.	50 <sup>(1)</sup>	50 <sup>(1)</sup>
<b>COV AROMÁTICOS</b>								
Benceno	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,1	0,2
Resto de compuestos: no detectados							-	-
<b>FENOLES</b>								
No detectados							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>								
Diclorometano	N.D.	0,34	N.D.	N.D.	22	N.D.	0,6	-
Resto de compuestos: no detectados							-	-
<b>CLOROBENCENOS</b>								
Clorobenceno	N.D.	0,18	N.D.	0,24	N.D.	N.D.	1	0,03
1,2-Diclorobenceno	N.D.	0,12	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	7	0,11
1,4-Diclorobenceno	N.D.	0,1	N.D.	0,03	N.D.	N.D.	0,4	0,16
1,2,4-Triclorobenceno	N.D.	0,07	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,9	0,79
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>								
No detectados							-	-
<b>CLOROFENOLES</b>								
No detectados							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>								
No detectados							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>								
No detectados							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
<b>OTROS COMPUESTOS</b>								
No detectados							En función del compuesto detectado	
Acetona	N.D.	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,54
Tetraclorociclohexanos	N.D.	0,09	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	-	-
<b>METALES</b>								
							Valor de ref : ORDEN 5/05/08	
Cadmio	2	2	2	2	2	2	1	-
Cobalto	7	6	8	6	5	12	15	-
Cromo	26	20	24	19	24	29	1.000	-
Cobre	18	21	30	30	37	47	28	-
Níquel	19	15	24	18	13	20	40	-
Plomo	12	10	10	10	10	13	45	-
Zinc	66	62	80	77	67	94	420	-
Arsénico	6	6,7	8,3	6,6	8,4	10,5	26	-
Mercurio	0,46	0,36	N.D.	0,45	0,4	0,35	0,36	-

(1) Nivel establecido en el RD 9/2005 a partir del cual debe elaborarse una valoración de riesgos; N.D: No detectado.



Tabla 6. Resultados de los análisis químicos realizados en las gravas cuaternarias de los sondeos realizados en el vaso del embalse (mg/kg).

Analítica realizada	Geotest	RD	RD	RD	RD	Geotest	RD	Geotest	Geotest	RD	Geotest	Geotest	RD 9/2005												
		9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	9/2005	Otros Usos	Protección ecosistemas Organismos Acuáticos
INVESTIGACIÓN	SE-1 D-3	SE-2 D-2	SE-3 D-2	SE-4 D-4	SE-5 D-4	SE-6 D-3	SE-7 D-3	SE-8 D-3	SE-9 D-3	SE-10 D-3	SE-11 D-3	SE-12 D-3	SE-13 D-3	SE-14 D-3	SE-17 D-3	SE-18 D-4	SE-19 D-3	SE-20 D-4	SE-21 D-2	SE-21 D-3	SE-23 D-2	SE-23 D-3			
Profundidad (m)	5,40-5,50	8,90-9,00	7,60-7,80	14,00-14,20	9,30-9,50	7,80-8,00	8,00-8,20	7,80-8,00	7,60-7,70	6,00-6,20	7,00-7,20	7,60-7,70	5,75-5,90	5,80-6,00	5,00-5,15	11,00-11,10	8,20-8,40	5,00-5,15	2,50-2,60	3,30-3,40	2,60-2,70	3,80-3,90			
ANALITO	Ud.																								
pH	-	8,2	7,9	8	-	8,1	8,3	-	8,2	-	8	-	8,1	7,9	8,2	8	7,9	7,7	8,3	-	7,8	7,5	7,9	-	-
COT	%	-	4,4	5,1	4,7	5	-	5	-	6,6	-	6	-	5,1	-	-	-	6,3	-	-	4,4	-	-	-	-
TPH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	50*	
<b>COV AROMÁTICOS</b>																									
Benceno	mg/kg	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,04	0,02	0,54	0,06	1,2	0,01	N.D.	0,04	0,03	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	0,2
Tolueno	mg/kg	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3	0,24
Etilbenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	0,08
Xileno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	35	0,07
Estireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20	0,25
<b>FENOLES</b>																									
No detectados																							En función del compuesto detectado		
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>																									
No detectados																							En función del compuesto detectado		
<b>CLOROBENCENOS</b>																									
Clorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,09	0,25	0,08	0,16	0,10	0,07	N.D.	0,14	0,24	0,59	0,51	0,09	0,13	0,17	1	0,03
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,23	0,20	0,09	N.D.	N.D.	7	0,11	
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	0,38	0,31	0,15	0,05	0,04	0,4	0,16	
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,01	0,04	N.D.	N.D.	0,9	0,79	
Resto de compuestos No detectados																									
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>																									
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	-
<b>CLOROFENOLES</b>																									
No detectados																									
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>																									
Naftaleno	mg/kg	0,10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,05
Antraceno	mg/kg	0,05	0,07	0,05	N.D.	0,05	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	45	0,01											
Resto de compuestos No detectados																									
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>																									
Alpha-HCH	mg/kg	0,07	0,11	0,07	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,03	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,51	0,36	N.D.	N.D.	0,1	0,09	0,21	0,06	0,01	0,25
Beta-HCH	mg/kg	0,13	0,09	0,07	0,03	0,07	N.D.	0,08	N.D.	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,02	0,01	N.D.	N.D.	0,01	0,38						
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,19	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Delta-HCH	mg/kg	0,09	0,07	0,06	0,05	0,03	0,07	0,06	0,06	0,03	0,05	0,02	0,02	0,03	0,03	0,06	0,05	N.D.	N.D.	0,09	0,06	N.D.	0,01	-	-
Epsilon-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,54	0,09			-	-
Suma HCH	mg/kg	0,29	0,27	0,20	0,13	0,15	0,12	0,20	0,12	0,06	0,06	0,04	0,04	0,04	0,04	0,60	0,42	N.D.	N.D.	0,75	0,44	0,21	0,07	-	-
Resto de compuestos No detectados																									
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>																									
No detectados																									
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>																									
No detectados																									
<b>OTROS COMPUESTOS</b>																									
Acetona	mg/kg	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,54
p-Cloroanilina	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,3	0,01

(Continúa)



Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos -DOCUMENTO Nº 2. Caracterización medioambiental-

Analítica realizada	Geotest	RD	RD	RD	RD	Geotest	RD	Geotest	RD	Geotest	RD	Geotest	Geotest	RD 9/2005											
		9/2005	9/2005	9/2005	9/2005		9/2005		9/2005		9/2005		9/2005		9/2005		9/2005		9/2005		9/2005			9/2005	9/2005
INVESTIGACIÓN	SE-1 D-3	SE-2 D-2	SE-3 D-2	SE-4 D-4	SE-5 D-4	SE-6 D-3	SE-7 D-3	SE-8 D-3	SE-9 D-3	SE-10 D-3	SE-11 D-3	SE-12 D-3	SE-13 D-3	SE-14 D-3	SE-17 D-3	SE-18 D-4	SE-19 D-3	SE-20 D-4	SE-21 D-2	SE-21 D-3	SE-23 D-2	SE-23 D-3			
Profundidad (m)	5,40-5,50	8,90-9,00	7,60-7,80	14,00-14,20	9,30-9,50	7,80-8,00	8,00-8,20	7,80-8,00	7,60-7,70	6,00-6,20	7,00-7,20	7,60-7,70	5,75-5,90	5,80-6,00	5,00-5,15	11,00-11,10	8,20-8,40	5,00-5,15	2,50-2,60	3,30-3,40	2,60-2,70	3,80-3,90			
ANALITO	Ud.																					RD 9/2005			
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	0,09	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-											
Pentaclorociclohexanos	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,03	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	
METALES																							BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales		
Arsénico	mg/kg	4,3	9,5	10,2	11,7	11,6	6,1	7,1	7,3	7,1	6,9	9,8	8,1	9,7	8,4	7,6	19,3	9,7	9,9	11,3	11,8	8,5	7,8	26	-
Selenio	mg/kg	0,41	-	-	-	-	N.D.	-	0,15	-	0,14	-	0,34	-	0,22	-	0,29	-	0,28	0,28	-	1,4	0,33	20	-
Estaño	mg/kg	25,3	-	-	-	-	0,88	-	0,57	-	12,3	-	2	-	0,59	-	0,9	-	3,4	2,1	-	1,3	1,1	3.185	-
Antimonio	mg/kg	0,69	-	-	-	-	0,54	-	0,54	-	0,52	-	0,55	-	0,47	-	1	-	0,58	0,56	-	0,8	0,8	3	-
Cadmio	mg/kg	2	3	3	3	3	N.D.	3	N.D.	N.D.	2	2	2	3	3	2	4	2	2	3	3	3	2	1	-
Cromo	mg/kg	54	43	42	38	80	31	20	29	15	29	41	34	41	44	35	50	40	44	48	48	49	46	1.000	-
Cobalto	mg/kg	5	6	6	6	7	4	6	3	3	3	5	4	6	6	4	9	5	4	4	4	5	5	15	-
Cobre	mg/kg	19	15	14	12	18	18	16	19	6	6	10	7	8	8	9	56	9	6	7	7	7	8	28	-
Níquel	mg/kg	13	16	16	16	19	10	15	11	9	11	13	12	16	15	11	21	12	12	13	13	15	15	40	-
Plomo	mg/kg	15	N.D.	10	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	45	-
Zinc	mg/kg	50	67	62	110	64	40	54	43	32	39	45	41	52	52	41	96	42	38	45	45	44	45	420	-
Bario	mg/kg	180	-	-	-	-	120	-	120	-	140	-	150	-	180	-	250	-	150	150	-	170	160	890	-
Molibdeno	mg/kg	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	3	-								
Vanadio	mg/kg	58	-	-	-	-	34	-	34	-	38	-	44	-	56	-	75	-	38	48	-	52	52	100	-
Berilio	mg/kg	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,8	-								
Mercurio	mg/kg	0,3	0,24	0,55	0,79	0,43	0,22	0,38	0,28	0,28	0,35	0,33	0,26	1,3	0,36	0,29	0,43	0,28	0,22	0,31	0,21	0,25	0,24	0,36	-

Tabla 7. Resultados de los análisis químicos realizados sobre las muestras de sedimentos de colmatación (mg/kg)

Analítica realizada	RD 9/2005	COT	RD 9/2005	Geotest	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	Geotest	Geotest	Geotest	RD 9/2005	RD 9/2005	Valores de referencia <sup>(1)</sup> RD 9/2005	
														Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
INVESTIGACIÓN	SE-1 D-2	SE-3 D-4	SE-3 D-6	SE-4 D-3	SE-4 D-5	SE-4 D-8	SE-5 D-9	SE-5 D-10	SE-6 D-1	SE-7 D-4	SE-7 D-2	SE-7 D-8	SE-8 D-5		Organismos Acuáticos
Profundidad	3,50-3,60	1,50-1,70	3,80-4,00	9,70-10,30	10,90-11,00	2,60-2,80	4,00-4,20	2,50-2,60	0,40-0,60	1,50-1,70	7,40-7,50	2,50-2,70	2,50-2,60		
Material	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		
<b>ANALITO</b>	Ud.														
pH	-	-	-	-	7,8	7,9	6,6	-	-	6,4	6,8	8	-	-	-
COT	%	5,4	5,5	5,4	-	-	-	5	-	-	-	-	5,4	4,9	-
TPH	mg/kg	N.D.	-	N.D.	104	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	84	N.D.	N.D.	N.D.	50 <sup>(2)</sup>
<b>COV AROMÁTICOS</b>															
Benceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,02	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	0,05	N.D.	N.D.	0,02	0,1
Tolueno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3
Resto de compuestos No detectados															
<b>FENOLES</b>															
Fenol	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,08	0,15	0,15	0,1	0,11	N.D.	0,18	0,09	7
Cresol	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>															
No detectados															
<b>CLOROBENCENOS</b>															
Clorobenceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,01	N.D.	0,04	0,01	N.D.	N.D.	0,34	N.D.	N.D.	0,03	1
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	7
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	0,03	N.D.	N.D.	N.D.	0,4
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,9
Tetraclorobenceno	mg/kg	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Resto de compuestos No detectados															
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>															
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01
<b>CLOROFENOLES</b>															
No detectados															
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>															
Naftaleno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,05	N.D.	0,12	N.D.	1
Antraceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,16	0,08	N.D.	45							
Fluoranteno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8
Pireno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6
Benzo(a) antraceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2
Criseno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,06	N.D.	20								
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,13	N.D.	2								
Benzo(a)pireno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02
Indeno(1,2,3-cd) Pireno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,3
Dibenzo(a,h) antraceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,03
Benzo(g,h,i) perileno	mg/kg	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	-
Resto de compuestos No detectados															
<b>PESTICIDAS ORGANOCORADOS</b>															
Alpha-HCH	mg/kg	0,53	-	0,04	N.D.	0,14	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,68	0,11	0,01
Beta-HCH	mg/kg	0,55	-	N.D.	N.D.	0,18	N.D.	0,01							
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01

(Continúa)



INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	RD 9/2005	COT	RD 9/2005	Geotest	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	Geotest	Geotest	Geotest	RD 9/2005	RD 9/2005	Valores de referencia <sup>(1)</sup> RD 9/2005	
		SE-1 D-2	SE-3 D-4	SE-3 D-6	SE-4 D-3	SE-4 D-5	SE-4 D-8	SE-5 D-9	SE-5 D-10	SE-6 D-1	SE-7 D-4	SE-7 D-2	SE-7 D-8	SE-8 D-5	Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
Profundidad		3,50-3,60	1,50-1,70	3,80-4,00	9,70-10,30	10,90-11,00	2,60-2,80	4,00-4,20	2,50-2,60	0,40-0,60	1,50-1,70	7,40-7,50	2,50-2,70	2,50-2,60		
Material		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		Organismos Acuáticos
<b>ANALITO</b>	Ud.															
Delta-HCH	mg/kg	0,06	-	0,01	0,05	0,05	0,03	N.D.	N.D.	0,03	0,06	0,08	N.D.	N.D.	-	-
Epsilon-HCH	mg/kg	0,02	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
<b>Suma HCH</b>	mg/kg	1,16	-	0,05	0,05	0,37	0,05	0,01	0,02	0,06	0,10	0,13	0,68	0,11	-	-
Hexaclorobenceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Resto de compuestos No detectados																
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>																
Resto de compuestos No detectados																
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>																
Resto de compuestos No detectados																
<b>OTROS COMPUESTOS</b>																
p-Cloroanilina	mg/kg	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	-	-	-	N.D.	N.D.	0,3	0,01
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	0,03	-	-	N.D.	-	N.D.	0,02	-	N.D.	-	-		
<b>METALES</b>																
															<b>BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales</b>	
Arsénico	mg/kg	9,4	-	6,2	210	6,7	10,2	11,2	7,5	7,7	14,8	14,5	9,4	13,2	26	-
Selenio	mg/kg	-	-	-	1	0,27	0,43	-	0,36	0,31	0,37	0,29	-	-	20	-
Estaño	mg/kg	-	-	-	5,2	1,2	3,5	-	3,7	10	4,4	4,3	-	-	3.185	-
Antimonio	mg/kg	-	-	-	4,3	0,57	0,91	-	0,64	0,69	1,7	0,83	-	-	3	-
Cadmio	mg/kg	3	-	N.D.	4	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	3	N.D.	N.D.	1	-
Cromo	mg/kg	54	-	49	74	47	52	53	51	55	82	25	68	54	1.000	-
Cobalto	mg/kg	6	-	6	8	6	7	8	6	7	7	6	7	8	15	-
Cobre	mg/kg	29	-	8	29	9	11	12	11	10	28	8	13	18	28	-
Níquel	mg/kg	17	-	17	19	18	19	21	18	20	20	15	21	23	40	-
Plomo	mg/kg	13	-	N.D.	310	N.D.	17	14	10	N.D.	43	10	13	12	45	-
Zinc	mg/kg	66	-	64	690	96	88	63	64	62	300	60	85	94	420	-
Bario	mg/kg	-	-	-	240	400	220	-	210	220	290	180	-	-	890	-
Molibdeno	mg/kg	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	3	-
Vanadio	mg/kg	-	-	-	71	76	52	-	51	59	43	53	-	-	100	-
Berilio	mg/kg	-	-	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	0,8	-
Mercurio	mg/kg	0,28	-	0,87	8,9	1,3	1,6	0,45	0,58	1,1	15,5	0,14	3,4	1,5	0,36	-

(Continúa)

(1) El RD 9/2005 no es de aplicación a los sedimentos del embalse, pero se emplean los valores de referencia que en él se recogen para comparar los datos obtenidos. (2)NGR establecido en el RD 9/2005 para la realización de un ACR.



INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	RD 9/2006	Geotest	Geotest	Geotest	Metales	RD 9/2005	Geotest	Geotest	COT	RD 9/2005	COT	Geotest	Geotest	RD 9/2005	
		SE-9 D-4	SE-9 D-5	SE-9 D-2	SE-10 D-5	SE-10 D-8	SE-11 D-4	SE-11 D-8	SE-12 D-5	SE-12 D-7	SE-12 D-10	SE-13 D-1	SE-13 D-5	SE-13 D-2	Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
Profundidad	Material	1,20-1,30	3,50-3,70	6,10-6,20	1,85-2,00	4,10-4,20	1,40-1,55	5,00-5,20	2,30-2,50	4,10-4,25	5,80-6,00	0,80-0,90	1,60-1,80	4,20-4,80		
Material	Ud.	Sedimentos														
<b>ANALITO</b>	<b>Ud.</b>															
pH	-	-	6,8	8	-	-	-	-	6,7	-	-	-	-	8		
COT	%	5,6	-	-	-	5,5	-	-	-	5,3	5,3	-	-	-		
TPH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	50	50
<b>COV AROMÁTICOS</b>																
Benceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	0,07	-	0,01	N.D.	0,02	-	0,48	-	0,04	0,02	0,1	0,2
Tolueno	mg/kg	0,19	0,07	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,02	N.D.	-	N.D.	-	0,07	N.D.	3	0,24
Resto de compuestos No detectados																
<b>FENOLES</b>																
Fenol	mg/kg	0,18	0,11	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	7	0,03
Cresol	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	4	-
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>																
No detectados																
<b>CLOROBENCENOS</b>																
Clorobenceno	mg/kg	N.D.	0,01	0,09	1,5	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,35	-	0,09	0,04	1	0,03
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	7	0,11
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,4	0,16
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,9	0,79
Tetraclorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	N.D.	N.D.	-	-	-	N.D.	N.D.	-	-
Resto de compuestos No detectados																
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>																
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,01	-
<b>CLOROFENOLES</b>																
No detectados																
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>																
Naftaleno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,19	0,07	-	0,21	-	0,08	N.D.	1	0,05
Antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,07	N.D.	-	0,08	-	N.D.	N.D.	45	0,01
Fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	8	0,03
Pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	6	0,01
Benzo(a) antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,2	0,01
Criseno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	20	-
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,2	-
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	2	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,02	0,01
Indeno(1,2,3-cd) Pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,3	-
Dibenzo(a,h) antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,03	-
Benzo(g,h,i) perileno	mg/kg		N.D.	N.D.	N.D.	-	-	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	-
<b>PESTICIDAS ORGANOCORADOS</b>																
Alpha-HCH	mg/kg	0,02	0,01	0,06	0,02	-	0,03	N.D.	N.D.	-	0,03	-	N.D.	0,01	0,01	0,25
Beta-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,01	0,38
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Delta-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	0,04	-	-

(Continúa)



**Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos -DOCUMENTO Nº 2. Caracterización medioambiental-**

INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	RD 9/2006	Geotest	Geotest	Geotest	Metales	RD 9/2005	Geotest	Geotest	COT	RD 9/2005	COT	Geotest	Geotest	RD 9/2005	
		SE-9 D-4	SE-9 D-5	SE-9 D-2	SE-10 D-5	SE-10 D-8	SE-11 D-4	SE-11 D-8	SE-12 D-5	SE-12 D-7	SE-12 D-10	SE-13 D-1	SE-13 D-5	SE-13 D-2	Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
Profundidad		1,20-1,30	3,50-3,70	6,10-6,20	1,85-2,00	4,10-4,20	1,40-1,55	5,00-5,20	2,30-2,50	4,10-4,25	5,80-6,00	0,80-0,90	1,60-1,80	4,20-4,80		
Material		Sedimentos														
ANALITO	Ud.															
Epsilon-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	-
<b>Suma HCH</b>	mg/kg	0,02	0,01	0,06	0,02		0,03	ND	ND		0,03		ND	0,05	-	-
Hexaclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Resto de compuestos No detectados						-				-		-				
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>																
No detectados																
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>																
No detectados																
<b>OTROS COMPUESTOS</b>																
p-Cloroanilina	mg/kg	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	-	-	N.D.	-	-	-	0,3	0,01
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	N.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
<b>METALES</b>															<b>BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales</b>	
Arsénico	mg/kg	8,6	9,3	11,3	9,2	9,9	8,5	7,6	7,5	-	8,6	-	9	8,9	26	-
Selenio	mg/kg	-	0,41	0,27	0,31	-	-	0,31	0,28	-	-	-	0,26	0,39	20	-
Estaño	mg/kg	-	2,2	0,85	11,6	-	-	3,1	3,3	-	-	-	3,2	20,3	3.185	-
Antimonio	mg/kg	-	0,79	0,64	0,85	-	-	0,68	0,78	-	-	-	0,74	0,61	3	-
Cadmio	mg/kg	N.D.	N.D.	3	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	3	1	-
Cromo	mg/kg	31	48	35	39	45	45	48	33	-	43	-	44	37	1.000	-
Cobalto	mg/kg	7	6	6	6	7	5	6	5	-	6	-	6	5	15	-
Cobre	mg/kg	11	11	8	13	11	10	11	9	-	11	-	11	7	28	-
Níquel	mg/kg	19	19	14	17	18	18	19	15	-	18	-	18	14	40	-
Plomo	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	10	N.D.	45	-
Zinc	mg/kg	58	64	53	52	57	55	55	47	-	55	-	56	47	420	-
Bario	mg/kg	-	200	170	180	-	-	200	150	-	-	-	180	180	890	-
Molibdeno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	N.D.	N.D.	-	-	-	N.D.	N.D.	3	-
Vanadio	mg/kg	-	49	51	37	-	-	50	32	-	-	-	41	55	100	-
Berilio	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	N.D.	N.D.	-	-	-	N.D.	N.D.	0,8	-
Mercurio	mg/kg	0,61	0,48	0,56	0,6	0,54	0,37	0,47	0,49	-	0,43	-	0,49	0,35	0,36	-

INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	COT	RD 9/2005	RD 9/2005	Geotest	COT Metales	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	Geotest	NGR RD 9/2005	
															Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
Profundidad		SE-14 D-5	SE-14 D-6	SE-14 D-2	SE-17 D-4	SE-18 D-1	SE-18 D-6	SE-18 D-9	SE-18 D-12	SE-18 D-2	SE-18 D-3	SE-19 D-5	SE-19 D-6	SE-19 D-2		
Material		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		
ANALITO	Ud.															
pH	-	-	-	-	-	-	7,4	-	-	7,9	-	-	6,9	7,6	-	-
COT	%	5,8	5,4	5,4		6,7	-	-	5,6	-	5	-	4,4	-	-	-
TPH	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	956	1339	1920	N.D.	N.D.	240	192	176	50	50
<b>COV AROMÁTICOS</b>																
Benceno	mg/kg	-	0,01	N.D.	N.D.	-	1,4	0,94	1,9	N.D.	0,59	50	36	51	0,1	0,2
Tolueno	mg/kg	-	0,05	N.D.	N.D.	-	0,01	0,03	0,05	N.D.	N.D.	0,1	0,04	0,03	3	0,24
Resto de compuestos No detectados																
<b>FENOLES</b>																
Fenol	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,11	0,12	0,06	N.D.	N.D.	0,57	0,61	N.D.	7	0,03
Cresol	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	4	-							
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>																
No detectados																
<b>CLOROBENCENOS</b>																
Clorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,56	0,59	0,78	0,2	0,76	4,7	5,5	2,7	1	0,03
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,09	0,14	0,14	N.D.	N.D.	0,3	0,04	N.D.	7	0,11
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,1	0,12	0,16	N.D.	N.D.	0,14	0,04	0,03	0,4	0,16
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,01	0,04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,9	0,79
Tetraclorobenceno	mg/kg	-	-	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	-	0,01	-	-
Resto de compuestos No detectados																
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>																
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,01	-							
<b>CLOROFENOLES</b>																
No detectados																
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>																
Naftaleno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	0,13	-	0,15	0,22	0,12	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,05
Antraceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	0,14	-	2,1	3,1	1,6	N.D.	0,14	N.D.	N.D.	N.D.	45	0,01
Fluoranteno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	3,3	3,3	0,71	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	0,03
Pireno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	2,6	4,3	0,49	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6	0,01
Benzo(a) antraceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	1	1,4	0,09	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2	0,01
Criseno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	2,2	2,8	0,27	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20	-
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	1,1	1,2	0,17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2	-
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,77	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,79	1,3	0,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	0,01
Indeno(1,2,3-cd) Pireno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,3	-							
Dibenzo(a,h) antraceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,03	-							
Benzo(g,h,i) perileno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.									
Resto de compuestos No detectados																
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>																
Alpha-HCH	mg/kg	-	0,03	0,02	0,05	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,27	0,1	N.D.	0,01	0,04	0,01	0,25
Beta-HCH	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	0,01	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,38
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,01	0,01							
Delta-HCH	mg/kg	-	N.D.	0,03	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	0,03	0,08	N.D.	N.D.	N.D.	-	-



**Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos -DOCUMENTO Nº 2. Caracterización medioambiental-**

INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	COT	RD 9/2005	RD 9/2005	Geotest	COT Metales	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	Geotest	NGR RD 9/2005		
															Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas	
Profundidad		SE-14 D-5	SE-14 D-6	SE-14 D-2	SE-17 D-4	SE-18 D-1	SE-18 D-6	SE-18 D-9	SE-18 D-12	SE-18 D-2	SE-18 D-3	SE-19 D-5	SE-19 D-6	SE-19 D-2			
Material		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		Organismos Acuáticos	
ANALITO	Ud.																
Epsilon-HCH	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	-								
<b>Suma HCH</b>	mg/kg		0,03	0,05	0,05		ND	ND	ND	0,32	0,19	ND	0,01	0,04	-	-	
Hexaclorobenceno	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,01	0,01								
Resto de compuestos No detectados		-		-													
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>																	
No detectados																	
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>																	
No detectados																	
<b>OTROS COMPUESTOS</b>																	
p-Cloroanilina	mg/kg	-	N.D.	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	-	0,3	0,01	
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
<b>METALES</b>															<b>BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales</b>		
Arsénico	mg/kg	-	8,2	7,7	7,4	800	330	470	530	10,1	130	81,3	17	42,3	26	-	
Selenio	mg/kg	-	-	-	0,28	-	2,3	5	-	0,29	-	0,65	-	1,5	20	-	
Estaño	mg/kg	-	-	-	1,4	-	10,5	13,8	-	8,2	-	2,7	-	1,5	3.185	-	
Antimonio	mg/kg	-	-	-	0,79	-	10,5	1,8	-	0,77	-	1,8	-	1,7	3	-	
Cadmio	mg/kg	-	N.D.	3	N.D.	8	N.D.	4	4	3	3	N.D.	N.D.	4	1	-	
Cromo	mg/kg	-	44	43	38	970	38	640	390	47	54	62	88	82	1.000	-	
Cobalto	mg/kg	-	5	6	5	10	6	10	9	7	7	7	8	10	15	-	
Cobre	mg/kg	-	10	8	9	120	9	120	110	8	17	23	16	31	28	-	
Níquel	mg/kg	-	17	17	16	30	15	27	25	17	19	19	18	23	40	-	
Plomo	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	1300	N.D.	1600	1950	N.D.	17	140	15	61	45	-	
Zinc	mg/kg	-	54	54	47	6700	46	5700	2250	52	76	550	71	130	420	-	
Bario	mg/kg	-	-	-	170	-	-	330	-	190	-	190	-	270	890	-	
Molibdeno	mg/kg	-	-	-	N.D.	-	-	5	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	3	-	
Vanadio	mg/kg	-	-	-	42	-	43	57	-	56	-	42	-	77	100	-	
Berilio	mg/kg	-	-	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	0,8	-	
Mercurio	mg/kg	-	0,29	0,42	0,31	110	85	6,4	37	0,4	0,47	6,3	2,7	1,4	0,36	-	

(1)NGR establecido en el RD 9/2005 para la realización de un ACR.

INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	NGR RD 9/2005	
							Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
	Profundidad	SE-20 D-5	SE-21 D-1	SE-21 D-5	SE-23 D-1	SE-23 D-4		Organismos Acuáticos
	Material	1,80-2,00	0,60-0,70	1,50-1,60	0,70-1,85	1,60-1,75		
		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimento	Sedimento		
<b>ANALITO</b>	<b>Ud.</b>							
pH	-	-	-	6,8	-	6,7	-	-
COT	%	-	-	5,4	-	5,4	-	-
TPH	mg/kg	11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	50	50
<b>COV AROMÁTICOS</b>								
Benceno	mg/kg	0,04	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	0,2
Tolueno	mg/kg	N.D.	0,02	N.D.	N.D.	N.D.	3	0,24
Resto de compuestos No detectados								
<b>FENOLES</b>								
Fenol	mg/kg	0,04	0,11	0,06	0,07	0,13	7	0,03
Cresol	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	4	-
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>								
No detectados								
<b>CLOROBENCENOS</b>								
Clorobenceno	mg/kg	3,4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,03
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	0,13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	7	0,11
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	0,18	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,4	0,16
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,9	0,79
Tetraclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-		
Resto de compuestos No detectados								
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>								
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	-
<b>CLOROFENOLES</b>								
No detectados								
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>								
Naftaleno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	0,05
Antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	45	0,01
Fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	8	0,03
Pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	6	0,01
Benzo(a) antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2	0,01
Criseno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	20	-
Benzo(b)fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,2	-
Benzo(k)fluoranteno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	2	-
Benzo(a)pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,02	0,01
Indeno(1,2,3-cd) Pireno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,3	-
Dibenzo(a,h) antraceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,03	-
Benzo(g,h,i) perileno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
Resto de compuestos No detectados								
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>								
Alpha-HCH	mg/kg	0,02	0,01	N.D.	0,01	0,01	0,01	0,25
Beta-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,38
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Delta-HCH	mg/kg	0,03	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	-	-



INVESTIGACIÓN	Analítica realizada	Geotest	Geotest	RD 9/2005	Geotest	RD 9/2005	NGR RD 9/2005	
	Profundidad	SE-20 D-5	SE-21 D-1	SE-21 D-5	SE-23 D-1	SE-23 D-4	Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
	Material	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimento	Sedimento		Organismos Acuáticos
ANALITO	Ud.							
Epsilon-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
<b>Suma HCH</b>	mg/kg	0,05	0,01	ND	0,02	0,01	-	-
Hexaclorobenceno	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	0,01
Resto de compuestos No detectados								
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>								
No detectados								
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>								
No detectados								
<b>OTROS COMPUESTOS</b>								
p-Cloroanilina	mg/kg	-	-	N.D.	-	N.D.	0,3	0,01
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	-	-	-		
<b>METALES</b>							<b>BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales</b>	
Arsénico	mg/kg	7,1	7,9	8,9	7,8	7,6	26	-
Selenio	mg/kg	0,19	0,22	-	0,21	-	20	-
Estaño	mg/kg	2	2,2	-	1,8	-	3.185	-
Antimonio	mg/kg	0,69	0,68	-	0,65	-	3	-
Cadmio	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	-
Cromo	mg/kg	52	91	13	43	51	1.000	-
Cobalto	mg/kg	6	6	6	6	6	15	-
Cobre	mg/kg	9	9	10	9	9	28	-
Níquel	mg/kg	19	18	19	17	20	40	-
Plomo	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	45	-
Zinc	mg/kg	55	47	60	52	56	420	-
Bario	mg/kg	200	180	-	180		890	-
Molibdeno	mg/kg	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	3	-
Vanadio	mg/kg	52	45	-	46	-	100	-
Berilio	mg/kg	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	0,8	-
Mercurio	mg/kg	2,2	1,9	1,1	1,3	1,2	0,36	-

### 8.4.2 Ensayos realizados sobre las muestras líquidas

Las tablas siguientes se recogen los resultados obtenidos en los análisis realizados sobre las muestras líquidas recogidas.

Tabla 8: Resultados obtenidos de los análisis realizados sobre las muestras de agua subterránea

INVESTIGACIÓN		ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-6	SX*	RD 1514/2009	N.I. NORMATIVA HOLANDESA
ANALITO	Ud.								
TPH	mg/l	10	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	0,6
<b>COV AROMÁTICOS</b>									
Benceno	µg/l	163	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	10	-	30
Tolueno	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,8	-	1000
Resto de compuestos: No Detectados									
<b>FENOLES</b>									
Fenol	µg/l	0,2	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1,8	-	2000
Cresol	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	200
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>									
No Detectados									
<b>CLOROBENCENOS</b>									
Clorobenceno	µg/l	2.130	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	1	-	180
1,2-Diclorobenceno	µg/l	1.029	N.D.	15	N.D.	N.D.	N.D.	-	50
1,4-Diclorobenceno	µg/l	647	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	50
1,2,4-Triclorobenceno	µg/l	288	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	10
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>									
PCB (Suma 7 congéneres)	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	0.01
<b>CLOROFENOLES</b>									
2-Clorofenol	µg/l	2,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	100
2,4-Diclorofenol	µg/l	3,1	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	30
2,4,5-Triclorofenol	µg/l	2,4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	10
2,4,6-Triclorofenol	µg/l	13	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	10
Pentaclorofenol	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	3
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>									
Naftaleno	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,07	0,36	-	70
Resto de compuestos: No Detectados									
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>									
Alpha-HCH	µg/l	0,86	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,35	0,1	-
Beta-HCH	µg/l	0,073	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	-
Gamma-HCH (Lindano)	µg/l	2,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	-
Delta-HCH	µg/l	25	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	-
Epsilon-HCH	µg/l	8	N.D.	0,27	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	-
Otros isómeros del HCH	µg/l	9,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,1	-
<b>Suma HCH</b>	µg/l	46,53	0	0,27	0	0	0,35	0,5	1
Resto de compuestos No detectados									
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>									
No detectados									
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>									
No detectados									
<b>SUMA PLAGUICIDAS</b>	mg/l	46,53	-	0,27	-	-	-	0,5	-
<b>OTROS COMPUESTOS DETECTADOS</b>									

INVESTIGACIÓN		ST-1	ST-2	ST-3	ST-4	ST-6	SX*	RD 1514/2009	N.I. NORMATIVA HOLANDESA
ANALITO	Ud.								
Tetraclorociclohexano	µg/l	178	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
Pentaclorociclohexano	µg/l	0,42	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
Hexaclorodienos	µg/l	0,17	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-
<b>METALES</b>									
Selenio	µg/l	13,4	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	160
Estaño	µg/l	12,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	50
Bario	µg/l	110	90	70	90	N.D.	-	-	-
Cadmio	µg/l	89,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	6
Plomo	µg/l	13,8	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-	75
Resto de compuestos: No Detectados									

\*Muestra de agua intersticial de los sedimentos registrados en los sondeo SE-8 y SE-9. No aplica la legislación contemplada

Tabla 9: Resultados obtenidos de los análisis realizados sobre las muestras de colectores y de la acequia

INVESTIGACIÓN		Ud.	Fosfo*	Riego	Directiva 2008/105/CE	
ANALITO					Media Anual	Concentración Máxima Admisible
TPH		mg/l	N.D.	N.D.	-	-
<b>COV AROMÁTICOS</b>						
No detectados						
<b>FENOLES</b>						
No detectados						
<b>HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS</b>						
No detectados						
<b>CLOROBENCENOS</b>						
No detectados						
<b>POLICLOROBIFENILOS (PCB's)</b>						
No detectados						
<b>CLOROFENOLES</b>						
No detectados						
<b>HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)</b>						
Benzo(b)fluoranteno		µg/l	0,06	N.D.	0,03	-
Resto de compuestos: no detectados						
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>						
Alpha-HCH		µg/l	1,5	0,47	-	-
Beta-HCH		µg/l	0,18	N.D.	-	-
Gamma-HCH (Lindano)		µg/l	0,05	N.D.	-	-
Delta-HCH		µg/l	0,35	0,12	-	-
Epsilon-HCH		µg/l	-	-	-	-
<b>Suma HCH</b>		µg/l	2,08	0,59	0,02	0,04
Resto de compuestos: no detectados						
<b>PESTICIDAS NITROGENADOS</b>						
No detectados						
<b>PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS</b>						
No detectados						
<b>METALES</b>						
Arsénico		µg/l	5,2	N.D.	1	-
Zinc		µg/l	140	N.D.	25	-
Mercurio		µg/l	5,7	N.D.	0,05	0,07



La información analítica recabada específicamente en este estudio se ha completado con los datos de la red de seguimiento calidad de aguas superficiales de la Confederación Hidrográfica del Ebro y con datos analíticos de trabajos de seguimiento específicos realizados por este Organismo.

La Confederación Hidrográfica del Ebro dispone de una estación automática de alerta en el río Gállego a la altura de Jabarrella (5 km aguas abajo del embalse de Sabiñánigo), donde se analizan en continuo: turbidez, temperatura, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, pH y amonio. La estación dispone además de un tomamuestras automático que permite ir almacenando, convenientemente refrigeradas, botella con agua del río Gállego.

Desde el mes de mayo de 2.009 el tomamuestras funciona cada 8 horas, de tal forma que al cabo de 7 días dispone de 21 muestras de agua, a partir de las cuales se elaboran 2 muestras compuestas. Además, desde mediados del mes de junio de 2.009, una bomba peristáltica toma en continuo agua del río, recogiendo una muestra semanal. Las tres muestras así recogidas son enviadas al laboratorio de la CHE, donde se realizan análisis completos, incluyendo metales pesados y compuestos orgánicos.

Antes de mayo de 2.009 el tomamuestras estaba programado para recoger agua cada dos horas hasta un máximo de dos días, y eliminarlas automáticamente si no se detectaban anomalías en los sensores en continuo. El agua que se analizaba semanalmente en el laboratorio correspondía, por tanto a una muestra compuesta de las 24 últimas botellas, es decir de los últimos dos días.

Los resultados analíticos de la estación del río Gállego en Jabarrella, código 904 en la red de alerta de calidad de aguas, se recogen en el Anejo A-7 "Datos analíticos aportados por la CHE".

Adicionalmente, durante el mes de abril de 2.010 la CHE ha muestreado y analizado de nuevo las aguas de algunos de los piezómetros de la zona perimetral del embalse, del colector de pluviales de la fosforera y de la acequia de riego localizada al NO del embalse, con objeto de contrastar los resultados analíticos obtenidos en las muestras tomadas en diciembre de 2.009. Además, en esa misma campaña se ha realizado una inspección visual de las surgencias existentes al pie del vertedero de Sardas. Los resultados analíticos se recogen en el Anejo A-7.

#### *8.4.3 Ensayos realizados para la caracterización del lixiviado*

En la tabla siguiente se resumen los resultados de las caracterizaciones realizadas para evaluar la calidad del lixiviado generado desde los sedimentos de colmatación.



Tabla 10: Resultados de los análisis de lixiviados

Muestra Investigación	SE-3 R-1	SE-4 R-1	SE-5 R-1	SE-6 R-2	SE-7 R-2	SE-8 R-1	SE-9 R-1	SE-10 R-1	SE-11 R-1	SE-12 R-1	SE-13 R-1	SE-14 R-1	SE-17 R-1	SE-18 R-2	SE-19 R-2	SE-20 R-1	SE-21 R-1	SE-23 R-1	
Profundidad (m)	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	2,05-4,10	2,05-4,10	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	2,05-4,10	2,05-4,10	0,00-2,05	0,00-2,05	0,00-2,05	
Unidad																			
<b>DETERMINACIONES</b>																			
<i>Sobre el Eluato L/S=10 l/kg</i>																			
<b>Test de Lixiviación</b>																			
pH	-	7,5	7,6	7,5	7,7	7,7	7,7	7,6	7,6	7,5	7,9	7,6	7,7	7,7	7,6	7,6	7,7	7,7	7,7
Residuo seco	mg/kg	1480	1700	1600	1690	1900	1450	2070	2010	2020	1510	1840	1600	2280	3030	1610	2420	1990	1850
<b>Metales</b>																			
Arsénico	mg/kg	2	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	<0,01	<0,01	0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	36,3	0,02	0,02	0,01
Bario	mg/kg	0,8	0,8	0,8	<0,5	<0,5	0,9	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	0,8	1,4	1,1	0,6	0,5	0,8
Cadmio	mg/kg	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Cromo total	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Cobre	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Mercurio	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Molibdeno	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,7	1	<0,5	<0,5	<0,5
Níquel	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
Plomo	mg/kg	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
Antimonio	mg/kg	0,22	0,03	0,04	0,09	0,05	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,02	0,04	4,1	0,03	0,04	0,03
Selenio	mg/kg	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Zinc	mg/kg	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2
<b>Otros</b>																			
Cloruros	mg/kg	11	<10	21	<10	15	26	15	20	15	<10	16	15	32	85	90	93	10	54
Fluoruros	mg/kg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	2,9	<1	<1	<1	<1	1	<1	5,2	<1
Sulfatos	mg/kg	53	354	278	301	324	409	234	615	630	263	431	680	765	1080	43	680	820	505
Índice de fenoles	mg/kg	0,14	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	2,70	0,08	<0,02	<0,02
Carbono Orgánico Disuelto COD	mg/kg	137	58,5	64,8	74,2	49,7	65,0	62,4	64,1	65,0	60,8	56,5	57,8	62,8	90,1	238	68,6	57,5	55,1
Sólidos Totales Disueltos	mg/kg	1.480	1.700	1.600	1.690	1.900	1.450	2.070	2.010	2.020	1.510	1.840	1.600	2.280	3.030	1.610	2.420	1.990	1.850
<b>Parámetros Orgánicos Sobre el Residuo</b>																			
Carbono Orgánico Total COT	mg/kg	137	58,5	64,8	74,2	49,7	65	62,4	64,1	65	60,8	56,5	57,8	62,8	90,1	238	68,6	57,5	55,1
Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos BTEX	mg/kg	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	85	< 0,4	< 0,4	< 0,4
Bifenilos policlorados PCB	mg/kg	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Aceite Mineral C10-C40	mg/kg	37	33	27	< 5	21	21	32	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	263	977	< 5	< 5	< 5
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos HPA	mg/kg	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	< 0,75	1,08	< 0,75	< 0,75	< 0,75
Carbono Orgánico Total COT	%	9,26	3,44	4,05	4,39	2,62	4,48	3,01	3,19	3,22	4,03	3,07	3,61	2,75	2,97	14,78	2,83	2,89	2,98

## 9 VALORACIÓN DE LOS RESULTADOS

En este apartado se realiza una valoración e interpretación de los resultados obtenidos.

### 9.1 Modelo conceptual del emplazamiento

Con todos los datos anteriores se puede realizar una primera aproximación al modelo conceptual del emplazamiento.

En el centro del modelo figura el embalse, cuyo sustrato profundo es muy poco permeable, y está formado por margas y areniscas con permeabilidades del orden de  $10^{-8}$  m/s. Por encima de este sustrato se sitúan los depósitos gravosos cuaternarios, con espesores máximos del orden de 15 m, que se acuñan hacia las paredes del embalse y que poseen una permeabilidad superior, del orden de  $10^{-3}$  m/s, y por encima de éstos se han depositado los sedimentos de colmatación actuales formados por materiales finos sin consolidar, con una permeabilidad estimada del orden de  $10^{-6}$  m/s.

Los depósitos gravosos, tanto las terrazas como el aluvial, se comportan hidrogeológicamente como una única unidad, estando en conexión hidráulica directa ambos materiales.

Las entradas de agua al embalse tienen lugar a través de las aguas superficiales y de las aguas subterráneas.

Las aguas superficiales fluyentes, ríos Gállego y Aurín, entran por el cauce del río y salen por la cerrada de la presa. Una entrada menor de aguas superficiales se produce por la riera que se utiliza para regar los huertos de la margen derecha del embalse. Asimismo, como entradas actuales de aguas residuales se identifican el colector de la depuradora de *Energía e Industrias Aragonesas* y el colector de pluviales de la zona de *Fosforera*.

Las aguas subterráneas entran a través de los depósitos gravosos cuaternarios, tanto desde la margen derecha, a través de las terrazas bajas y el aluvial, como desde la zona del vertedero de Sardas a través de las gravas de las terrazas bajas.

Este aspecto es especialmente importante en el caso del vertedero. En él se generan lixiviados que escapan del mismo y alcanzan la terraza inferior, migrando a través de ella hasta el sustrato del embalse (gravas cuaternarias).

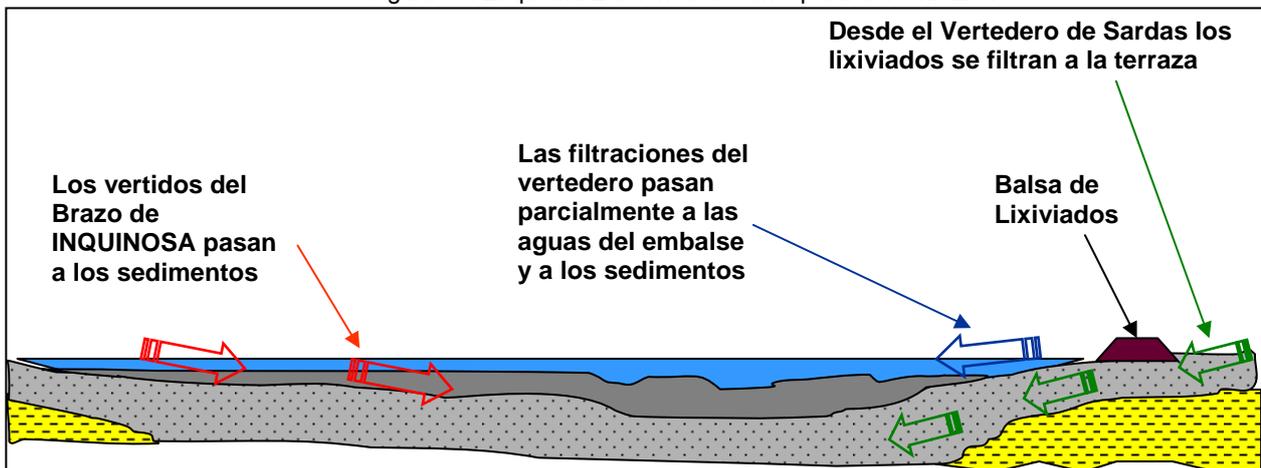
En este escenario, se asume que las aguas procedentes del Gállego, aguas arriba del embalse, están limpias y no aportan compuestos de origen industrial.

Las dos figuras siguientes ilustran el modelo conceptual elaborado.

Figura 16: Esquema 1 del modelo conceptual del embalse.



Figura 17: Esquema 2 del modelo conceptual del embalse.



## 9.2 Características de los compuestos detectados

A continuación se esboza una breve reseña de las características físico-químicas más importantes del HCH.

Los hexaclorociclohexanos (HCH), son los principales causantes de la afección detectada en el

embalse. El HCH es una sustancia persistente y bioacumulativa que ha sido incluida entre las sustancias prohibidas por el convenio de Estocolmo y que fue utilizada durante largo tiempo como insecticida.

El Hexaclorociclohexano (HCH) o hexacloruro de benceno (HCB) es un compuesto clorado de fácil fabricación que ha sido utilizado ampliamente como insecticida en los años 70 del siglo pasado. El HCH se fabrica mediante la cloración fotoquímica del benceno, lo que da lugar a la formación de cinco isómeros estables de HCH fundamentales, alfa, beta, gamma, delta y epsilon. Este producto se denomina HCH técnico. Durante el proceso de fabricación se generan distintas proporciones de los diferentes isómeros, proporciones que varían ligeramente debido a las diferencias técnicas del proceso de producción. Las proporciones de cada isómero generado en el proceso son: alfa-HCH (53 a 80%), beta-HCH (3 a 14%), gamma-HCH (lindano) (8 a 18%), delta-HCH (6 a 10%) y epsilon (1 a 5%).

Durante la producción del lindano se generan gran cantidad residuos de HCH, formados principalmente por una mezcla de isómeros del HCH, con un bajo contenido en isómero gamma, dado que este es el que se separa y comercializa. Dentro de los residuos generados se pueden diferenciar dos tipos fundamentales: los residuos alfa, formados por una mezcla de isómeros del HCH, con una gran proporción de alfa y beta, y baja, de gamma y delta, que es obtenida de la producción del HCH enriquecido o durante la primera etapa de la producción del lindano. Y los residuos Delta, que están formados por una mezcla de isómeros del HCH, con gran proporción de delta, media de gamma y baja de alfa y beta, que se producen durante la purificación de los disolventes usados en la producción del lindano.

Tabla 11: Residuos de producción del HCH.

COMPUESTO	RESIDUO Alfa (%)	RESIDUO Delta (%)
$\alpha$ -HCH	80-85	8-10%
$\beta$ -HCH	7-11%	3-6%
$\gamma$ -HCH (lindano)	1-2%	10-15%
$\delta$ -HCH	2-5%	40-50%
$\varepsilon$ -HCH	0-1%	2-3%
Otros isómeros del HCH	0-1%	1-2%
Clorobencenos	0-1%	2-3%
Productos de cloración del anillo	0-1%	2-3%
Disolvente (benceno, metanol y otros)	1-5%	5-10%

El isómero alfa es el más abundante. Se degrada con dificultad mostrando mayor persistencia a bajas temperaturas. La trayectoria metabólica anaerobia del alfa-HCH por la vía de la dechloración, termina en el tetraclorociclohexano. En condiciones metanógenas se forman

diclorofenol y triclorofenol, así como clorobenceno y benceno, estos dos últimos como productos finales estables. En condiciones aeróbicas, en suelos fangosos, el alfa-HCH deshidroclora en pentaclorociclohexano, el cual pasa a tetraclorobenceno o triclorobenceno pudiendo producir también diclorobenceno.

El isómero beta es el más estable en el medioambiente. La trayectoria de degradación del beta-HCH es similar a la del alfa-HCH.

El isómero gamma es el conocido como Lindano y es la parte de la producción de HCH que se comercializa, ya que posee intensas propiedades insecticidas. Se trata del compuesto más soluble. Su degradación produce pentaclorociclohexano y triclorobencenos.

Otro aspecto destacable de los HCH es que son muy estables a pH ácidos, entre 5 y 7, y algo menos a pHs entre 7 y 9. Asimismo, se debe tener presente que a temperaturas en torno a los 5° C la vida media de los compuestos se duplica.

En la tabla siguiente se recogen las propiedades físicas más relevantes de los diferentes isómeros del HCH.

Tabla 12: Propiedades físicas de los isómeros del HCH.

Propiedad	Punto de fusión	Presión de vapor	Densidad	Degradación ( $DT_{50}$ suelo)	Solubilidad ( $S_w$ )
	°C	(a 20°C) mm Hg	g/cm <sup>3</sup>	Semanas	mg/l
α-HCH	159	$4,5 \times 10^{-5}$	1,87	20	10
β-HCH	314	$3,6 \times 10^{-7}$	1,89	-	5
γ-HCH (lindano)	112,5	$4,2 \times 10^{-5}$	1,89	3	17
δ-HCH	141	$6,5 \times 10^{-5}$	-	-	10

Un aspecto importante de las propiedades físicas de estos compuestos es su densidad. Se trata de materiales con densidades altas, en el entorno de 1,89 g/cm<sup>3</sup>, que hacen que en medio acuoso se depositen en el fondo por gravedad. Asimismo, la migración de las sustancias tiene una componente gravitatoria muy importante, haciendo que se acumulen en las zonas inferiores de los estratos más permeables.

### 9.3 Estado de los suelos y de las aguas de la zona perimetral del embalse

#### 9.3.1 Estado de los suelos

Se ha estudiado la calidad de los suelos en la margen derecha y en la margen izquierda del embalse.

Como ya se ha citado en apartados anteriores, los sondeos situados en la margen derecha (ST-3, ST-4, ST-5 y ST-6) han atravesado un relleno antrópico realizado para la construcción

del camino perimetral del embalse, la terraza baja del Gállego, y finalmente han alcanzado el sustrato terciario muy poco permeable formado por margas y areniscas. Las muestras analizadas se han tomado en la parte inferior del nivel de terraza, en contacto con el sustrato terciario.

ST-6 puede considerarse como *blanco ambiental* de la zona, ya que no ha arrojado la presencia de compuestos orgánicos.

El resto de las investigaciones han revelado la existencia de una zona afectada en el entorno del llamado *Brazo de Inquinosa*, cerca de la depuradora de *Energía e Industrias Aragonesas* y de las antiguas instalaciones de *Inquinosa*.

En esta zona se detecta benceno y clorobenzenos en el sondeo ST-3 (en concentraciones por debajo del nivel de referencia), y diclorometano en el sondeo ST-4 (por encima del nivel de referencia, puesto que se han registrado 22 mg/kg de este compuesto frente a los 0,6 mg/kg indicados en el RD 9/2005).

En el caso de ST-3, situado junto a las antiguas instalaciones de *Inquinosa*, los compuestos identificados -clorobenceno, 1,2-diclorobenceno, 1,4-diclorobenceno y 1,2,4-triclorobenceno, y benceno-, eran utilizados en el proceso de producción del HCH o incluso pueden proceder de la degradación del HCH, por lo que todo apunta a las instalaciones referidas como origen de la afección registrada.

En cuanto a la sustancia detectada en ST-4, el diclorometano es un compuesto organoclorado de densidad 1,33 g/cm<sup>3</sup> de muy baja solubilidad en agua que se utiliza como disolvente industrial, por lo que se estima puede tener su origen en las actividades tradicionalmente desarrolladas en *Energía e Industrias Aragonesas*, situada a unos 30 m de distancia del sondeo.

Las investigaciones replanteadas en la margen derecha son ST-2 y ST-1, y han atravesado el depósito coluvial que cubre la zona, la terraza baja del Gállego y finalmente han alcanzado el sustrato terciario formado por margas arenosas muy compactas. De ellos, el punto ST-2 puede considerarse como *blanco ambiental*, ya que no registra la presencia de sustancias orgánicas de origen industrial.

ST-1 está situado en la perpendicular de la zona de salida de los lixiviados del vertedero de Sardas y muestra afección en sus materiales. En este sondeo se han analizado dos muestras, una procedente de los materiales coluviales y otra perteneciente a la terraza baja. La muestra

del coluvial no presenta signos de afección, mientras que la muestra de la terraza está afectada por la presencia de clorobencenos, diclorometano, acetona y tetraclorociclohexanos.

La afección presente en la terraza, en la zona del vertedero, se atribuye a las fugas de lixiviados del mismo, que se infiltran hasta el sustrato gravoso circulando por él hacia el embalse. Los compuestos detectados son productos de la degradación del HCH.

Se ha detectado la presencia de metales pesados en todas las muestras recogidas, incluyendo las de los blancos ambientales, destacando la existencia generalizada en la zona de concentraciones de Cadmio, Cobre y Mercurio, por encima de los niveles de referencia utilizados, NGR de la Comunidad Autónoma de Aragón.

La presencia en todas las muestras de estos elementos puede tener un origen natural y ser una anomalía de carácter local.

### 9.3.2 Estado de las aguas subterráneas

Los muestreos y analíticas realizados se han encaminado a determinar un aspecto fundamental: valorar el estado ambiental de las aguas subterráneas que alcanzan el embalse.

Al igual que en el apartado anterior se diferencian las muestras procedentes de la margen derecha y las de la margen izquierda.

En las aguas subterráneas de la margen derecha solamente se han detectado 15 µg/l de 1,2-diclorobenceno y 0,27 µg/l de HCH en ST-3, al igual que en los suelos, y cuyo origen es el mismo que ya se ha definido. En el resto de sondeos no se detectan estos compuestos. Análisis posteriores realizados por la CHE en el ST-3 han detectado la presencia de trazas de HCH, triclorobencenos, arsénico y cadmio.

Esto indica la ausencia de aportes significativos de aguas subterráneas con compuestos industriales al embalse desde la zona industrial situada en su margen derecha. Si bien parece existir un foco secundario de afección situado en las instalaciones de Inquinosa.

En la margen izquierda se sitúan ST-1 y ST-2. ST-2 no registra afección alguna, lo cual indica que no hay aportes desde el norte de la zona de estudio, desde las margas de Larrés, y confirma su definición como *Blanco Ambiental*.

En ST-1, situado entre la balsa de lixiviados de Sardas y el embalse, se ha detectado benceno, fenol, clorobencenos, clorofenoles, HCH, tetraclorociclohexano, pentaclorociclohexano, hexaclorodienos, selenio, estaño, bario, cadmio y plomo. Las concentraciones registradas



superan los niveles de referencia en el caso del benceno, los clorobenzenos, 2,4,6-Triclorofenol, HCH y los metales pesados.

Todos ellos, excepto los metales, son productos de la degradación del HCH y residuos tipo delta de la producción del HCH.

Análisis posteriores realizados por la CHE confirman este extremo, aumentando significativamente la cantidad de HCH detectado (1.820 µg/l en ST-1). Asimismo, se ha observado HCH en fase libre en las surgencias localizadas al pié del vertedero. También se detectan trazas de cadmio y arsénico.

El origen de estas sustancias se atribuye a la infiltración del lixiviado generado en el vertedero de Sardas a través de las gravas de la terraza baja del Gállego y su posterior migración junto con las aguas subterráneas hasta alcanzar el embalse. Este lixiviado provoca una fuerte afección en el depósito cuaternario del pantano, ya que el agua subterránea se mueve principalmente a través de los materiales gravosos que conforman las terrazas bajas y el aluvial del río Gállego. Esto se muestra especialmente en los tipos de compuestos detectados y su distribución, aspecto que será comentado más ampliamente en el apartado siguiente.

#### **9.4 Sobre la calidad medioambiental del embalse (sedimentos y aguas superficiales)**

De cara a la caracterización del embalse de Sabiñánigo se han diferenciado los depósitos cuaternarios preexistentes a la construcción y llenado del mismo, los sedimentos de colmatación depositados desde su construcción, y las aguas de los nuevos emisarios identificados en este estudio. Adicionalmente se ha valorado la calidad del agua del río Gállego en el entorno del ámbito investigado.

En los apartados siguientes se determina cual es estado medioambiental actual de cada uno de ellos.

##### *9.4.1 Sobre la calidad medioambiental de las gravas cuaternarias*

Los depósitos estudiados son los cuaternarios gravosos existentes previamente a la construcción del embalse: el aluvial del Río Gállego y las terrazas bajas del mismo.

Litológicamente se trata de depósitos formados por gravas heterométricas redondeadas y subredondeadas de color gris y matriz areno-limosa. Los cantos son de origen polimíctico, con predominio de las rocas ígneas y metamórficas sobre las sedimentarias, especialmente en los tamaños mayores. El tamaño de los cantos varía desde un centímetro a los 20-30 cm.

En el caso de los materiales aluviales la matriz es fundamentalmente arenosa con escasa

proporción de limos. En el caso de las terrazas la proporción de matriz/grava es algo mayor y ésta es limo-arenosa.

La permeabilidad de las dos litologías es del orden de  $1 \cdot 10^{-3}$  m/s.

Los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recogidas en el sustrato del embalse muestran que hay dos grupos de compuestos que se detectan de forma generalizada, y en varios casos con niveles por encima de los de referencia: isómeros de HCH, y en menor medida Clorobencenos.

Además, se han detectado otras sustancias como Benceno, Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos –PAH-, Arsénico, Cadmio y Mercurio, aunque de forma menos relevante. En la tabla de la página siguiente se reflejan el número de muestras analizadas, el número de muestras que registran la presencia de un determinado compuesto, y el número de ellas que superan alguno de los criterios de referencia, con las matizaciones que ya se han comentado en el apartado de “criterios de valoración”.

Tabla 13: Parámetros estadísticos de los compuestos detectados en las muestras de suelo del sustrato gravoso.

ANALITO	Ud.	Num Muestras	Num Muestras detectado	Num Muestras > NGR Otros Usos	Num Muestras > NGR O Acuáticos
pH	-	22	17	-	-
COT	%	22	10	-	-
TPH	mg/kg	22	0	-	-
<b>COV AROMATICOS</b>					
Benceno	mg/kg	22	10	2	2
<b>CLOROBENCENOS</b>					
Clorobenceno	mg/kg	22	13	0	13
1,2-Diclorobenceno	mg/kg	22	4	0	2
1,4-Diclorobenceno	mg/kg	22	6	0	2
1,2,4-Triclorobenceno	mg/kg	22	3	0	0
<b>PESTICIDAS ORGANOCLORADOS</b>					
Alpha-HCH	mg/kg	22	20	17	2
Beta-HCH	mg/kg	22	10	8	0
Gamma-HCH (Lindano)	mg/kg	22	2	1	1
Delta-HCH	mg/kg	22	19	-	-
Epsilon-HCH	mg/kg	22	2	-	-
Suma HCH	mg/kg	22	20	20	-
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	22	20	-	-
<b>METALES</b>					
Arsénico	mg/kg	22	22	0	-
Selenio	mg/kg	22	10	8	-
Estaño	mg/kg	22	11	0	-
Antimonio	mg/kg	22	11	0	-
Cadmio	mg/kg	22	19	19	-
Cromo	mg/kg	22	22	0	-
Cobalto	mg/kg	22	22	0	-

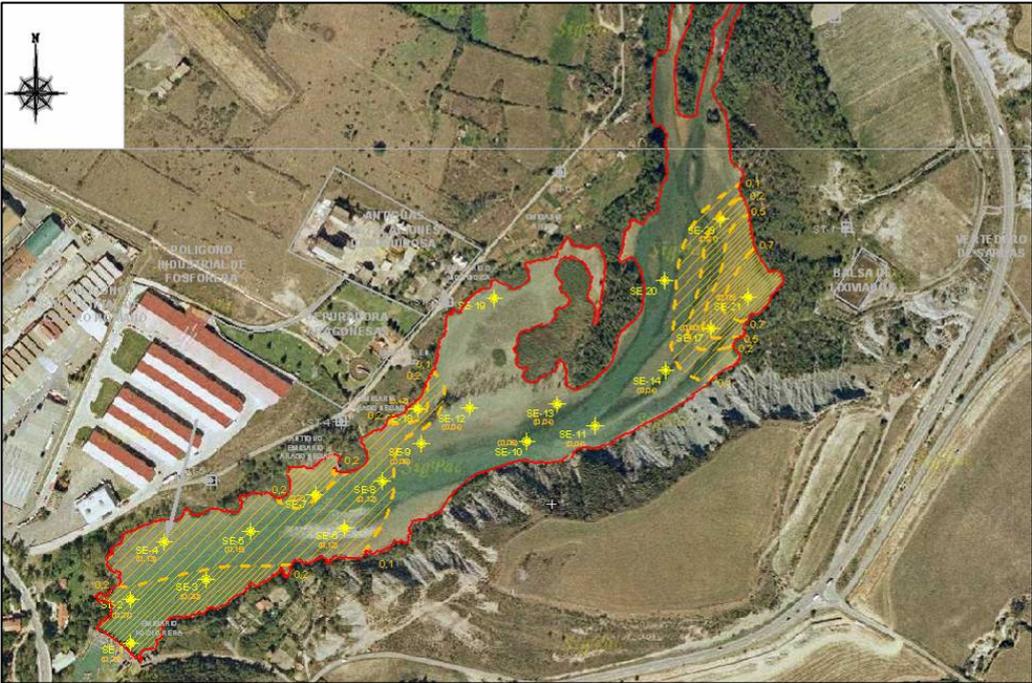
ANALITO	Ud.	Num Muestras	Num Muestras detectado	Num Muestras > NGR Otros Usos	Num Muestras > NGR O Acuáticos
Cobre	mg/kg	22	22	1	-
Níquel	mg/kg	22	22	0	-
Plomo	mg/kg	22	5	5	-
Zinc	mg/kg	22	22	0	-
Bario	mg/kg	22	11	0	-
Molibdeno	mg/kg	22	0	0	-
Vanadio	mg/kg	22	11	0	-
Berilio	mg/kg	22	0	0	-
Mercurio	mg/kg	22	22	6	-

Estudiando la tabla se puede apreciar que de los isómeros del HCH, los isómeros alfa y delta son los más abundantes, lo que encaja con los focos de afección identificados en el entorno. Así, el isómero alfa es el que más se produce en el proceso de cloración del benceno, y la abundancia de delta se atribuye a los procesos de purificación de los disolventes utilizados para la producción del lindano.

Sólo se ha detectado la presencia del isómero gamma (Lindano) en 2 muestras. Se trata de un compuesto más soluble que los otros isómeros, cuya afección puede ser consecuencia de la migración de estos compuestos desde los focos de afección identificados aguas arriba, y que no estaban presentes en el momento de la sedimentación de los materiales del sustrato.

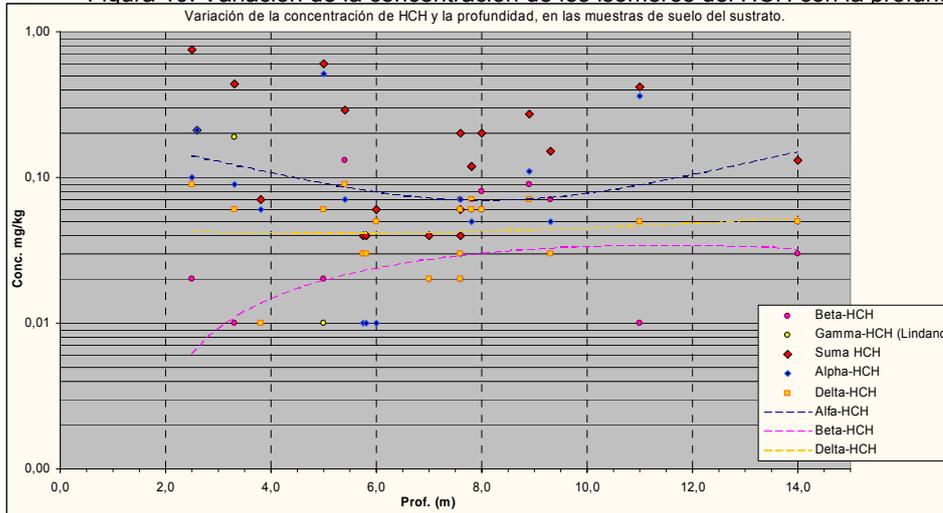
La presencia de HCH de forma generalizada confirma las conclusiones de los informes anteriores, registrándose los valores más elevados en la zona de influencia del vertedero de Sardas (véase la figura adjunta que se recoge igualmente en el Anejo "Planos").

Figura 18: Distribución del HCH en las gravas cuaternarias.



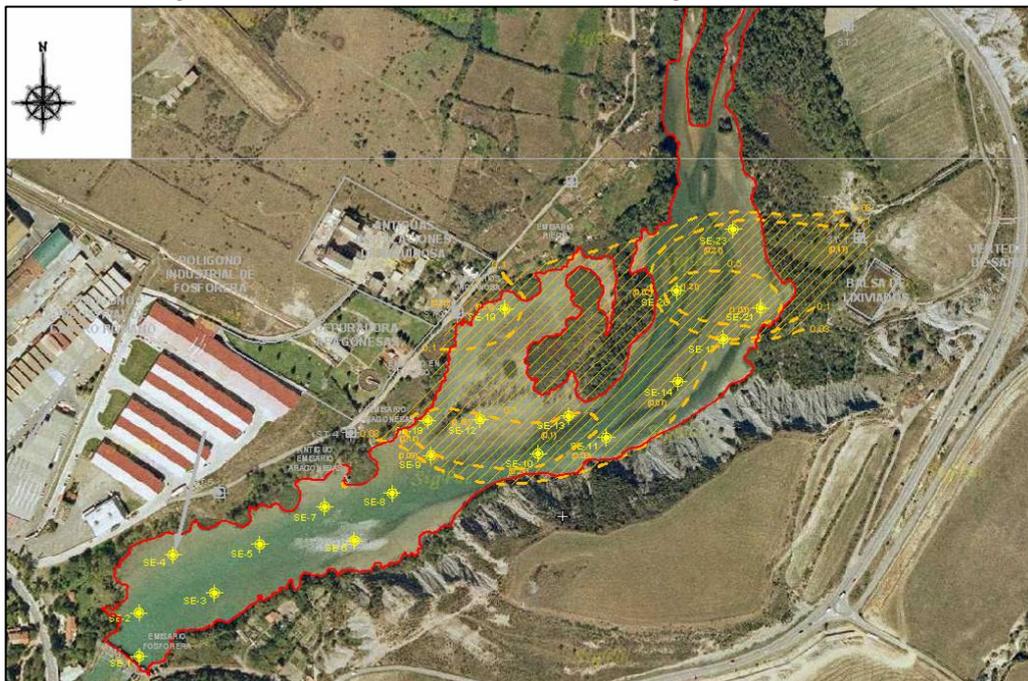
En la grafica de la figura siguiente se reflejan las concentraciones de los diferentes isómeros del HCH con respecto a la profundidad, y si bien aparentemente hay una ligera disminución de la cantidad de HCH total, ésta es muy poco significativa.

Figura 19: Variación de la concentración de los isómeros del HCH con la profundidad.



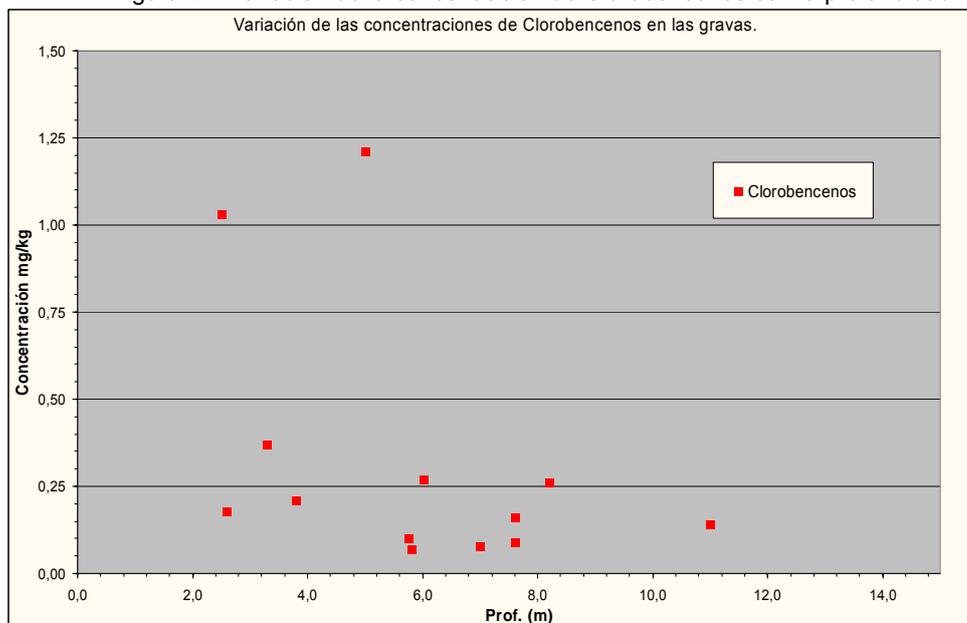
En lo que se refiere al otro compuesto orgánico que se ha detectado de forma más notable, - Clorobenceno (producto de degradación del HCH técnico, y utilizado en la purificación del lindano durante el proceso de producción)-, su distribución aporta información sobre el origen de la afección presente en el sustrato del embalse, en tanto en cuanto parece estar ligada especialmente a los lixiviados procedentes del vertedero de Sardas (véase en la figura adjunta la distribución de esta sustancia en las gravas cuaternarias), y en menor medida a un foco de afección situado en la zona *de Inquinosa*.

Figura 20: Distribución del clorobenceno en las gravas cuaternarias.



La distribución vertical de las concentraciones de estos compuestos parece indicar que disminuyen ligeramente en profundidad.

Figura 21: Variación de la concentración de Clorobencenos con la profundidad



Sobre los metales pesados se deben diferenciar dos casos, por un lado el del Cadmio y por otro el del Mercurio.

El Cadmio se detecta de forma generalizada en concentraciones por encima del nivel de referencia utilizado en todas las muestras. La distribución vertical de las concentraciones no muestra variaciones con la profundidad, por lo que no puede descartarse que pueda tener un origen natural.

El Mercurio se detecta en todas las muestras analizadas, si bien solamente supera los niveles de referencia en la zona de *Inquinosa* y en la de su influencia.

#### 9.4.2 Sobre la calidad medioambiental de los sedimentos de colmatación

Los sedimentos de colmatación, cuantificados en aproximadamente 780.000 m<sup>3</sup>, se tratarán como una única unidad estructural, asumiendo con ello que se han depositado después de la construcción del embalse.

En ellos se ha detectado HCH, Clorobencenos, Fenol, Benceno (éstos tres últimos productos de la degradación del HCH, bien en ambiente anaerobio en condiciones metanógenas -Fenol,

Clorofenol y Benceno-, o bien, en ambiente aerobio, -Clorobencenos-), Tolueno, Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos y metales pesados. Su distribución confirma nuevamente la existencia de dos focos principales de afección, localizados en el vertedero de Sardas y en el *Brazo de Inquinosa*, (véanse los planos numerados del 9.1 al 9.7 en el Anejo I, donde se recoge esta distribución).

En este sentido, las mayores concentraciones de Benceno, Fenol y Clorobenceno se han detectado en la zona de *Inquinosa* (de hecho el Benceno se ha registrado exclusivamente en esta zona), los niveles más elevados de HCH se registran en la margen derecha del embalse, y la presencia de PAH se constata de forma puntual en ambas márgenes.

En cuanto a los metales pesados, se han detectado de forma generalizada Mercurio y Cadmio, de modo más localizado Arsénico, Cobre, Plomo y Zinc, y puntualmente Antimonio y Molibdeno.

La distribución espacial de las zonas afectadas y el patrón de distribución de las concentraciones, indica en este caso la existencia de un foco principal situado en los alrededores de *Industrias Aragonesas* y nuevamente en el *Brazo de Inquinosa*, y de un foco difuso de afección situado en la zona de influencia del vertedero de Sardas.

En el *Brazo de Inquinosa*, además, se han detectado los mayores contenidos de Arsénico y Antimonio en los ensayos efectuados sobre los lixiviados procedentes de los sedimentos.

Los gráficos adjuntos recogen la variación de todas estas sustancias con la profundidad, sin que en ningún caso se observe que las concentraciones registradas estén relacionadas con este parámetro.

Figura 22: Variación de la concentración de los isómeros del HCH con la profundidad.

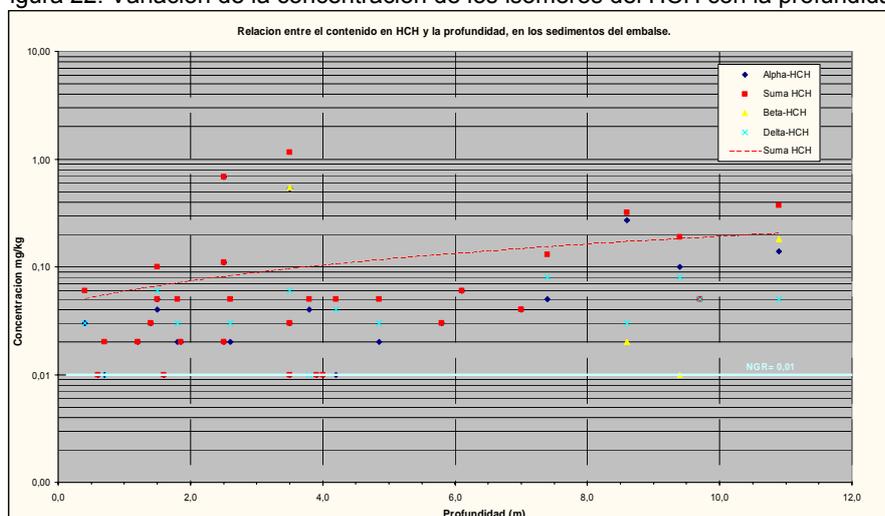


Figura 23: Variación de la concentración del benceno, fenol y clorofenol con la profundidad.

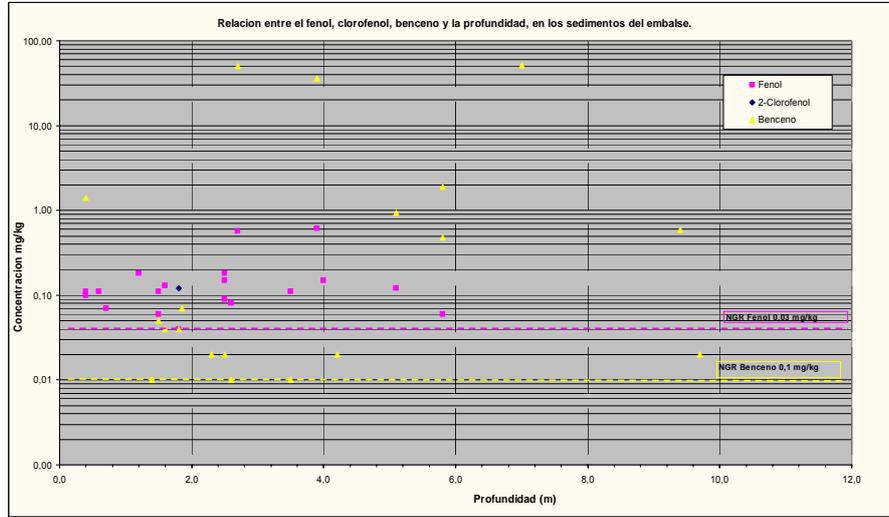


Figura 24: Variación de la concentración de los clorobencenos con la profundidad.

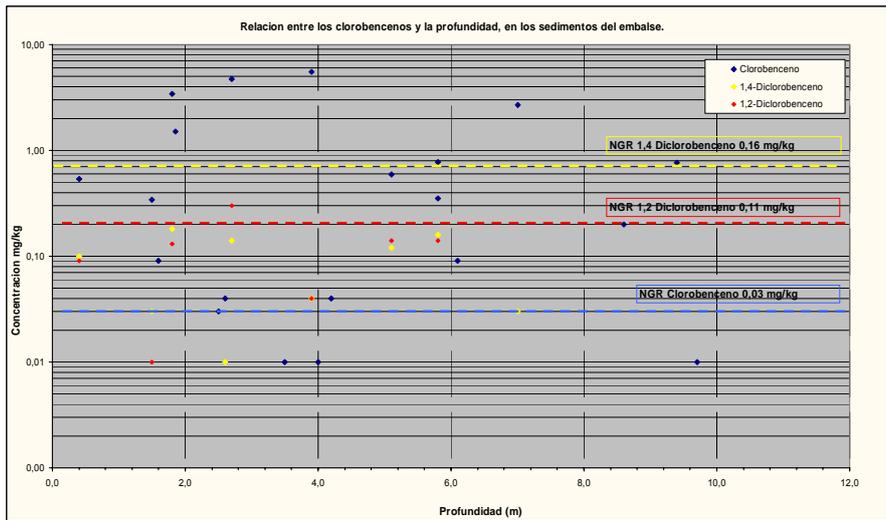
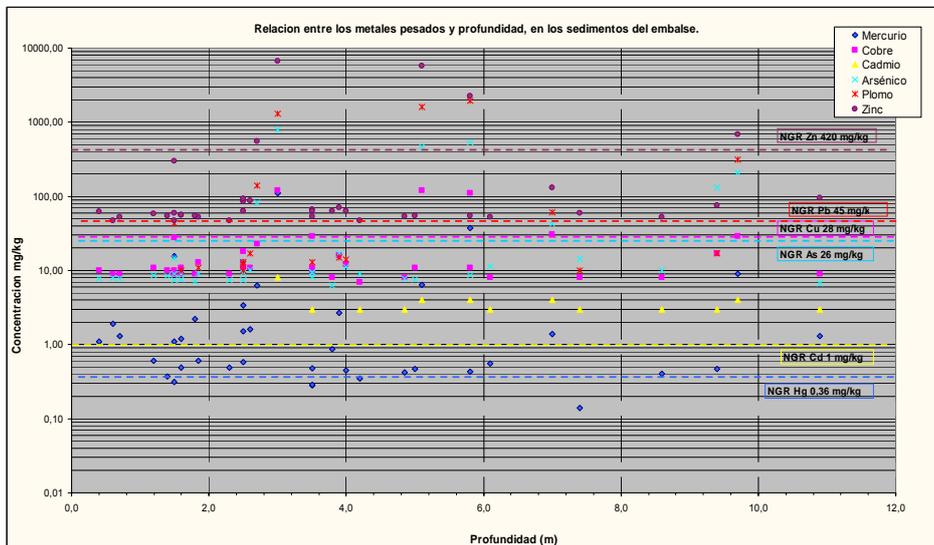


Figura 25: Variación de la concentración de metales con la profundidad.



### *Ecotoxicidad de los sedimentos*

Se entiende por *Ecotóxico*, todo producto capaz de producir efectos adversos tanto sobre los aspectos naturales como los humanos de un ecosistema.

Suele ser una práctica habitual determinar la toxicidad mediante el bioensayo de inhibición de la movilidad en la *Daphnia Magna*, (pulga de agua). En este ensayo se mide la cantidad de agua, vertido o lixiviado que provoca una inhibición de la movilidad del 50% ( $CE_{50}$ ) en 48 horas.

Cuanto menor es  $CE_{50}$  (es decir, menos cantidad de muestra que hace falta para la inmovilización del 50%), mayor es la toxicidad de la muestra.

Según la Orden Ministerial de 13 de octubre de 1989, se establece que un residuo es tóxico cuando su lixiviado presenta un valor de  $CE_{50}$  inferior a 750 mg/l.

Aplicando esta referencia al análisis de los sedimentos, los resultados indican que no se trata de un sedimento ecotóxico (véase tabla adjunta).

Tabla 14: Resultados de los ensayos de ecotoxicidad realizados en las muestras de sedimento.

SE-4	SE-9	SE-18	SE-21	SE-23
mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
69.000	460.000	9.600	320.000	27.000

### *Agua intersticial*

Los resultados de los ensayos de laboratorio efectuados sobre una muestra compuesta del agua intersticial contenida en los sedimentos de los sondeos SE-8 y SE-8 (muestra SX), ha arrojado la presencia de Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y  $\alpha$ -HCH, lo que se corresponde con las sustancias más relevantes que se han registrado en los sedimentos de colmatación.

En este caso no hay legislación aplicable, por lo que su presencia se ha valorado exclusivamente de forma cualitativa.

#### *9.4.3 Sobre la calidad de las aguas de los emisarios y de la calidad del agua del río Gállego*

En lo referente a la composición química de los emisarios al embalse, durante la investigación realizada por GEOCISA se han analizado dos muestras líquidas procedentes de un colector y una acequia que vierten al embalse. A continuación se recuerdan los puntos de recogida de las muestras y sus condiciones.



- Fosfo: Muestra de agua recogida el día 17/12/2009 del colector de salida de pluviales de la zona del *Polígono Industrial de Fosforera*.
- Riego: Muestra de agua superficial recogida el día 17/12/2009 en una acequia de riego situada en las parcelas de las huertas ubicadas en la zona noroeste del embalse.

En la muestra tomada de la acequia de riego localizada al NO del embalse se constató la presencia de HCH, mientras que en la muestra tomada directamente del colector del *Polígono Industrial de Fosforera* además de HCH se detectó la presencia de Arsénico, Zinc y Mercurio.

Estos datos se interpretaron como una anomalía puntual, tanto en cuanto se trata de una acequia de riego y de un colector de aguas pluviales, y los datos obtenidos en un segundo control (incluidos en el Anejo A-7) realizado por la CHE en abril de 2.010 con objeto de contrastar esos resultados analíticos, no han mostrado afección alguna. Véase a modo de ejemplo, que la concentración de HCH se encuentra por debajo del límite de detección en ambos casos.

No obstante, como se recoge en el capítulo de *Recomendaciones y propuesta de trabajos* de este documento, se recomienda controlar periódicamente la calidad de estas aguas.

Como se ha comentado anteriormente, los datos relativos a la calidad del agua del río Gállego en la zona de estudio provienen de los muestreos sistemáticos realizados por la CHE en la estación del Gállego en Jabarrella (Anejo A-7).

En las aguas superficiales del río Gallego, como norma general, las concentraciones de sustancias están por debajo de las normas de calidad legalmente establecidas. En estos dos últimos años se ha producido un único incumplimiento por HCH el día 12 de junio de 2.008 con una concentración de 0,114 µg/l (la norma de calidad de agua para consumo humano es de 0,1 µg/l); y tres incumplimientos por Hg el día 24 de septiembre de 2.008 y los días 3 y 29 de diciembre de 2.008, con unas concentraciones de 6,54 µg/l, 7,24 µg/l y 2,21 µg/l respectivamente (la norma de calidad de agua para consumo humano es de 1 µg/l).

#### *9.4.4 Comparación de los resultados obtenidos con los de anteriores trabajos*

En este apartado se comentan los resultados obtenidos en el presente estudio con respecto otros trabajos realizados en el pasado.

Las coordenadas de los puntos de muestreo han sido obtenidas de los trabajos de URS y no directamente del informe de TPA, ya que no constan entre la documentación de la que se ha



dispuesto. Se asume que todas las muestras son superficiales y que las cotas de las muestras son de 0,00-0,30 m de profundidad.

Comparando los resultados obtenidos en el presente estudio y los del año 1.991, se observa que en este momento hay una ligera disminución de las concentraciones registradas de HCH, en las muestras del *Brazo de Inquinosa*.

En el caso de los metales pesados no se aprecian variaciones relevantes.

La variación de las concentraciones de HCH se puede atribuir al paso del tiempo, ya que los compuestos orgánicos se han ido degradando de forma natural en los 19 años transcurridos desde el muestreo anterior, cosa que no ha ocurrido con los metales.

Las líneas de isoconcentración de los distintos compuestos en los sedimentos muestran una distribución semejante a la obtenida en la actual investigación, centrando el foco principal de afección a los sedimentos en el *Brazo de Inquinosa* y reflejando la existencia de un foco secundario de afección en la zona del vertedero de Sardas.

## **10 CONCLUSIONES**

En este capítulo se resumen las principales conclusiones obtenidas tras el estudio realizado en el embalse de Sabiñánigo y su entorno más inmediato.

### *Conclusiones generales*

- Ante la ausencia de legislación específica para valorar los resultados analíticos obtenidos en los sedimentos del embalse, el estudio se ha encuadrado dentro de la normativa de suelos contaminados, si bien esta normativa no es de aplicación en este ámbito en tanto en cuanto los materiales se encuentran permanentemente cubiertos por una lámina de agua (excepción del RD 9/2005). Los valores de referencia que se recogen en dicho Real Decreto, así como los correspondientes a los metales especificados en la Orden 5/05/08 del Gobierno de Aragón, publicada en el BOA el 6/06/08, han sido utilizados únicamente de modo orientativo.
- Geológicamente el embalse de Sabiñánigo está constituido por un sustrato profundo formado por margas y areniscas cementadas de permeabilidad muy baja. Por encima de este sustrato terciario se encuentran una serie de depósitos cuaternarios que se extienden lateralmente más allá del embalse en ambas márgenes del río, y están

formados por gravas heterométricas de permeabilidad visual alta y espesores que varían entre 1,0 y 12,50 m. Por encima de estos aparecen una serie de sedimentos actuales de carácter fino, constituidos por limos y arenas finas con algo de arcilla, que se han depositado en el fondo del embalse desde su construcción. El espesor de estos sedimentos de colmatación se ha establecido entre 1,0 y 8,10 m, y su permeabilidad visual es muy baja.

- El volumen estimado de los sedimentos de colmatación en el embalse es de 780.000 m<sup>3</sup>, habiéndose considerado que en el momento de esta investigación se ha colmatado hasta un 86,1 % de su capacidad.
- La dinámica de las aguas superficiales define una zona de acumulación principal de sedimentos de colmatación situada en el entorno de las antiguas instalaciones de *Inquinosa*, y otras zonas de menor relevancia situadas aguas abajo de ésta, en la margen derecha del embalse.
- Se ha detectado la presencia de un pequeño nivel acuífero libre constituido por gravas cuaternarias que descarga subterráneamente al embalse. La cota del nivel piezométrico se localiza a unos 765,0 msnm en la margen derecha, y a unos 763,5 msnm en la margen izquierda.
- Los principales focos de afección al embalse identificados son el vertedero de Sardas y el entorno de las antiguas instalaciones de *Inquinosa* (concretamente el denominado en este estudio como *Brazo de Inquinosa*) que actúa como foco secundario, y de forma menos relevante en la actualidad (aunque previsiblemente más significativo en el pasado), las instalaciones de *Energía e Industrias Aragonesas*.
- Debido al deficiente sellado del vertedero de Sardas, sus lixiviados se infiltran a través del aluvial del río, migrando posteriormente junto con las aguas subterráneas hasta alcanzar el embalse.

#### *Conclusiones sobre la situación medioambiental de los suelos y de las aguas en el entorno del embalse*

- El estado medioambiental de los suelos situados fuera del Dominio Público Hidráulico y de las aguas subterráneas que rodean el embalse es aceptable, excepto en la zona de influencia del vertedero de Sardas, donde en ambos medios se detectan compuestos orgánicos (HCH, Benceno, Clorobencenos y Clorofenoles en aguas, y TPH,

Diclorometano y Clorobenceno en suelos) y metales (Cadmio y Plomo en aguas, y Cadmio, Cobre y Mercurio en suelos), con concentraciones superiores a las de referencia (RD 9/2005 para suelos, y RD 1514/2009 y valores de intervención de la legislación holandesa de febrero de 2000 para aguas subterráneas).

#### *Conclusiones sobre la situación medioambiental del embalse y de las aguas del río Gállego*

- No existe una normativa aplicable para la valoración de los resultados analíticos de los sedimentos localizados bajo la lámina de agua del embalse, si bien se han utilizado los valores de referencia del R.D. 9/2005 de modo orientativo.
- En los sedimentos de colmatación y en los depósitos subyacentes (gravas cuaternarias) se ha registrado de forma recurrente la presencia de HCH (principalmente isómeros  $\alpha$  y  $\beta$ ), Clorobenceno, Mercurio y Cadmio.
- De forma puntual se han constatado productos de la degradación del HCH, como Benceno o Fenol, e Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos, así como Arsénico.
- La distribución de los compuestos orgánicos indica la existencia de tres focos de afección a los sedimentos del embalse. Uno estaría ubicado en las inmediaciones de la antigua planta de *Inquinosa*, otro en la zona de influencia del vertedero de Sardas, y un tercero en las proximidades de *Energía e Industrias Aragonesas*.
- Los resultados analíticos evidencian que los lixiviados de HCH procedentes del vertedero de Sardas circulan subterráneamente a través de las terrazas del río Gállego hasta alcanzar las gravas cuaternarias del embalse, donde se registran las concentraciones más altas de HCH, mientras que los sedimentos de colmatación de esa zona registran concentraciones bajas de este compuesto.
- El origen de los metales detectados de forma más significativa se atribuye a las prácticas industriales desarrolladas en el pasado en el entorno de *Inquinosa* (Arsénico, Cobre, Plomo, Zinc y Mercurio), y al entorno de las instalaciones de *Energía e Industrias Aragonesas* (Arsénico, Cobre, Plomo, Zinc y Mercurio).
- Los ensayos de ecotoxicidad realizados sobre la capa superficial de los sedimentos muestran que no se trata de sedimentos ecotóxicos, es decir, los elementos del sedimento no están alterados en cantidad significativa como para alterar los equilibrios biológicos del ecosistema.

- Los resultados obtenidos son concordantes con las investigaciones realizadas en el pasado en cuanto a distribución de los diferentes compuestos, si bien los niveles de HCH detectados en este estudio son inferiores a los indicados en el trabajo de TPA (1991).
- Los compuestos registrados en los sedimentos de colmatación del embalse proceden de los vertidos realizados históricamente por las empresas que han desarrollado su actividad en Sabiñánigo.
- Los compuestos registrados en las gravas cuaternarias del embalse tienen en parte un origen asociado a la actividad industrial desarrollada en la zona (vertidos industriales y lixiviados del vertedero de Sardas), y en parte un origen actual asociado a las fugas del vertedero de Sardas y presumiblemente a las instalaciones de INQUINOSA.
- Los análisis de las aguas de los nuevos emisarios identificados en este 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 2.010 indican que su calidad es buena.
- Los resultados analíticos del control de la calidad de las aguas del río Gállego en la estación de Jabarrella, realizados por la Confederación Hidrográfica del Ebro, ponen de manifiesto que las aguas del río no presentan, de manera general, incumplimientos de las normas de calidad legalmente establecidas.

## 11 RECOMENDACIONES Y PROPUESTA DE TRABAJOS

Sobre la base de las conclusiones establecidas, se recomienda **remediar la situación medioambiental** del subsuelo en las zonas ubicadas aguas arriba del ámbito en estudio, y que se han comprobado que son focos activos de afección al embalse: vertedero de Sardas.

Además, se proponen una serie de trabajos complementarios:

1. **Acotar** los datos registrados en los sedimentos de colmatación y en las gravas cuaternarias en las dos zonas en las que la presencia de los compuestos detectados ha sido más significativa: en el entorno de las antiguas instalaciones de *Inquinosa (Brazo de Inquinosa)*, y aguas abajo del vertedero de Sardas y en la cabecera del embalse.

Para ello se propone:

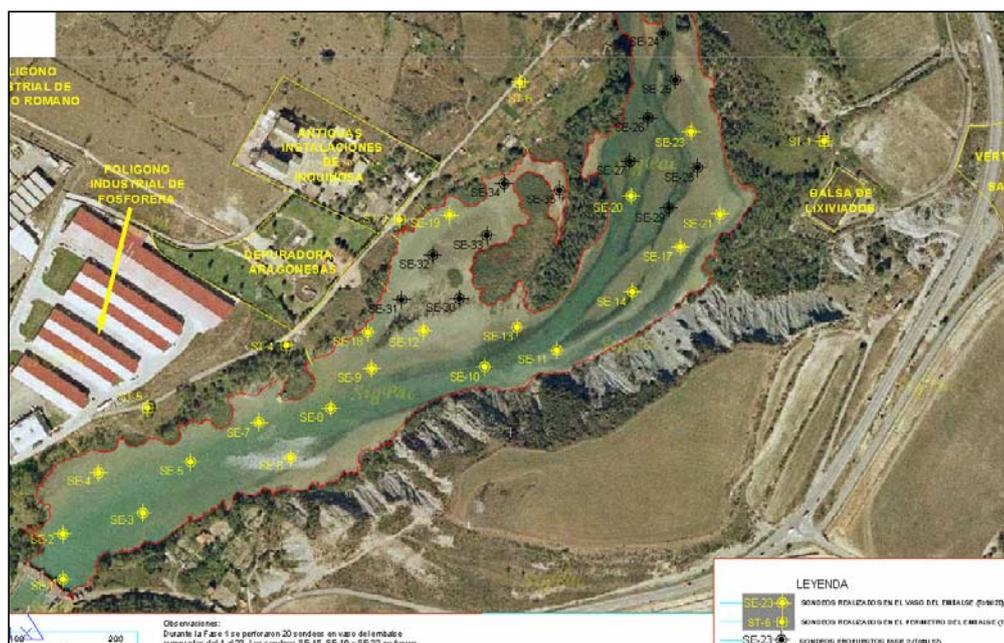
- En el *Brazo de Inquinosa*, ejecutar al menos seis perforaciones que deberán alcanzar una profundidad estimada de entre 16 y 18 m, con el fin de llegar al sustrato Terciario. Durante su ejecución se tomaran muestras de los materiales en las que se plantea el análisis de, al menos, los parámetros más críticos identificados en este estudio (HCH, Clorobencenos, Fenoles, metales, PAH, BTEX y, además, pH).

Además, de cara a posibles futuras actuaciones, se recomienda evaluar una serie de parámetros geotécnicos, efectuando, entre otros: granulometría, límites de Atterberg, densidad, humedad natural, porosidad, ensayos edométricos en los sedimentos, porcentaje de materia orgánica, porcentaje de carbonatos, de sulfatos solubles, etc.

- Aguas abajo del vertedero de Sardas, y en la cabecera del embalse efectuar otros seis sondeos (tres en la primera zona y otros tres en la segunda) a una profundidad de unos 15 m para alcanzar igualmente el sustrato terciario. En cada sondeo se recogerían muestras para evaluar posteriormente en el laboratorio, como mínimo, los siguientes parámetros: HCH, Clorobencenos, Fenoles, metales, PAH, BTEX y pH.

La figura adjunta muestra la situación propuesta para las investigaciones planteadas.

Figura 26. Localización de los sondeos ejecutados y de los sondeos propuestos



2. **Continuar con el seguimiento analítico del vertido procedente del colector de pluviales del Polígono Industrial Fosforera**, con el fin de constatar la ausencia de HCH y metales.
3. **Complementar los actuales seguimientos del río con la evaluación de la calidad de las aguas superficiales del embalse** recogiendo al menos cinco (5) muestras distribuidas por toda su superficie.

**Complementar los actuales seguimientos de la calidad de los sedimentos aguas abajo del embalse con una evaluación más detallada tanto de sedimentos como de aguas**, con el fin de descartar la movilización de las sustancias detectadas en este estudio. Se plantea el estudio de al menos 5 puntos entre el embalse y el embalse de Jabarrella, analizando los parámetros más significativos detectados en la investigación (HCH, Clorobencenos, metales, y PAH). A priori, se proponen como puntos de muestreo: el pie de la cerrada del embalse de Sabiñánigo, la zona de confluencia con el Río Tulivana, la entrada a Sabiñánigo desde la N-330, junto a la depuradora de Bailín, y la salida de la central eléctrica de Sabiñánigo.