

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

DOCUMENTO 1: Síntesis

Septiembre de 2010



Los trabajos objeto del presente estudio se enmarcan dentro de las actuaciones que la *Confederación Hidrográfica del Ebro* desarrolla para evaluar la calidad medioambiental de zonas hidrológicas que han estado sometidas a la influencia de diferentes procesos industriales.

Entre estas zonas se encuentra el embalse de Sabiñánigo (en Huesca), el cual ha sido desde su construcción un potencial receptor de diversas sustancias procedentes de algunos focos ubicados en su entorno (vertedero de Sardas e instalaciones asociadas, instalaciones de *Inquinosa, Energía e Industrias Aragonesas,.....*).

Como consecuencia de ello, desde el año 1.991 distintas empresas han efectuado varios estudios en esta zona (medioambientales, de riesgos, batimétricos...), obteniéndose como resultado que los sedimentos acumulados en el vaso del embalse se encontraban afectados por la presencia de sustancias orgánicas e inorgánicas procedentes de las actividades industriales desarrolladas en sus inmediaciones.

Tras ello, y con objeto de profundizar en el conocimiento de dicha afección y evaluar los posibles riesgos que ésta podría conllevar en potenciales receptores, en el año 2.009 la Confederación Hidrográfica de Ebro (CHE) encargó a GEOTECNIA Y CIMENTOS S.A. (GEOCISA) una amplia campaña de reconocimiento que ha concluido en el primer semestre del año 2.010.

En dicha campaña, entre otros trabajos, se han realizado 6 sondeos en la zona perimetral y 20 sondeos en el vaso del embalse, y se han recogido más de 200 muestras de sedimento, 5 muestras de agua subterránea, y sendas muestras de un colector y de una acequia que discurre anexa al embalse. Posteriormente se han efectuado en el laboratorio más de 200 determinaciones analíticas de sedimentos y aguas, incluyendo 5 ensayos de ecotoxicidad, 12 determinaciones granulométricas, y más de 70 barridos y determinaciones de compuestos orgánicos y de metales pesados.

El estudio efectuado ha evidenciado que geológicamente el embalse de Sabiñánigo está constituido por un sustrato 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 ambos márgenes del río, y están formados por gravas heterométricas de permeabilidad visual alta y espesores que varían entre 1,0 m y 12,5 m. Por encima de éstos, aparecen una serie de sedimentos actuales de carácter fino, constituidos por arcilla, limos y arenas finas, que se han depositado en el fondo del



embalse desde su construcción. El espesor de estos sedimentos de colmatación se ha establecido entre 0,5 m y 8,1 m, y su permeabilidad visual es baja.

El volumen estimado de dichos sedimentos de colmatación es de unos 780.000 m³ llegando a colmatar hasta un 86%-89% de la capacidad del embalse, según otros estudios realizados en este ámbito en enero de 2.009.

Se ha evidenciado la existencia de dos focos principales de afección, y un tercero menos relevante.

Uno de los focos principales de afección se localiza en el vertedero de Sardas, donde se ha constatado que sus lixiviados circulan subterráneamente a través de las terrazas cuaternarias localizadas al pie del vertedero, hasta alcanzar las gravas situadas bajo el embalse. La movilización de los lixiviados hacia el embalse se debió iniciar casi desde la misma puesta en funcionamiento del vertedero en la década de 1960, ya que no disponía de las mínimas medidas de control; tras su sellado definitivo en 1997 se ha vuelto a producir un escape de lixiviados en una fecha por determinar, que fue puesta de manifiesto a principios de 2009 tras la aparición de rezumes de lixiviado con fase libre de HCH en el talud localizado al pie del vertedero.

El otro foco principal de afección se localiza en el denominado Brazo de Inquinosa. Se trata de un estuario localizado en la margen derecha del embalse. Esta zona ha sido la receptora de los vertidos realizados por la empresa INQUINOSA entre 1975 y 1988; además, puede estar recibiendo actualmente la descarga subterránea procedente de las instalaciones no desmanteladas de INQUINOSA, donde se cree que se almacenan todavía materias primas y residuos de la fabricación del Lindano.

Otra fuente de afección de menor relevancia se corresponde con las actividades desarrolladas en el pasado por las instalaciones de *Energía e Industrias Aragonesas (EIASA)*, situadas en la margen derecha del embalse.

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 (*RD 9/2005*), si bien esta normativa no es de aplicación en este ámbito. 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 NGR Metales de Aragón*, BOA 6/06/08, han sido utilizados únicamente de modo orientativo.



Para valorar la calidad de las aguas subterráneas se ha contemplado 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 Real Decreto se han tenido en cuenta los valores de intervención de la legislación holandesa de febrero de 2000, actualizados en 2.007.

Con respecto a las aguas superficiales, ha utilizado la *Directiva 2008/105/CE de 16 de diciembre de 2.008*, relativa a las normas de calidad ambiental en el ámbito de la política de aguas.

Los ensayos de laboratorio han detectado la presencia de HCH, Clorobenceno y Mercurio en los sedimentos de colmatación de forma más generalizada, y de otras sustancias como Benceno, PAH o Cadmio de forma más localizada.

Los ensayos de toxicidad realizados en los sedimentos muestran, además, que éstos no son ecotóxicos, es decir, su calidad no está alterada de forma significativa como para afectar a los equilibrios biológicos del ecosistema.

Las sustancias detectadas en los sedimentos de colmatación tienen su origen en los vertidos históricos que ha recibido el embalse procedente de las industrias implantadas en la zona.

En las gravas cuaternarias existentes por debajo de los sedimentos se presenta una configuración similar, al detectarse también HCH, Clorobenceno y Mercurio.

Las sustancias detectadas 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.

Las aguas subterráneas de alrededor del embalse reflejan un estado ambiental aceptable excepto en la zona ubicada entre el embalse y el vertedero de Sardas, donde se ha constatado la presencia de HCH, Benceno, Clorobencenos y metales pesados con concentraciones por encima del nivel de referencia utilizado, así como trazas de clorofenoles.

De acuerdo con los datos del seguimiento analítico de las aguas superficiales del río Gállego que realiza la Confederación Hidrográfica del Ebro en la estación de Jabarrella, las aguas del río cumplen, de manera general, con las normas de calidad legalmente establecidas.

La evaluación de riesgos realizada, cuyo desarrollo y resultados se recogen en el Documento nº 3, concluye que las sustancias detectadas en la actualidad en los sedimentos del embalse, y



en los suelos y las aguas subterráneas de su entorno más próximo, no tienen efectos adversos sobre la salud humana ni sobre los ecosistemas, ni sobre potenciales receptores identificados en el propio embalse (usuarios de aguas superficiales para uso recreativo, ni en otros ubicados aguas abajo del mismo (usuarios del río Gállego -aguas superficiales- para uso igualmente recreativo).

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.

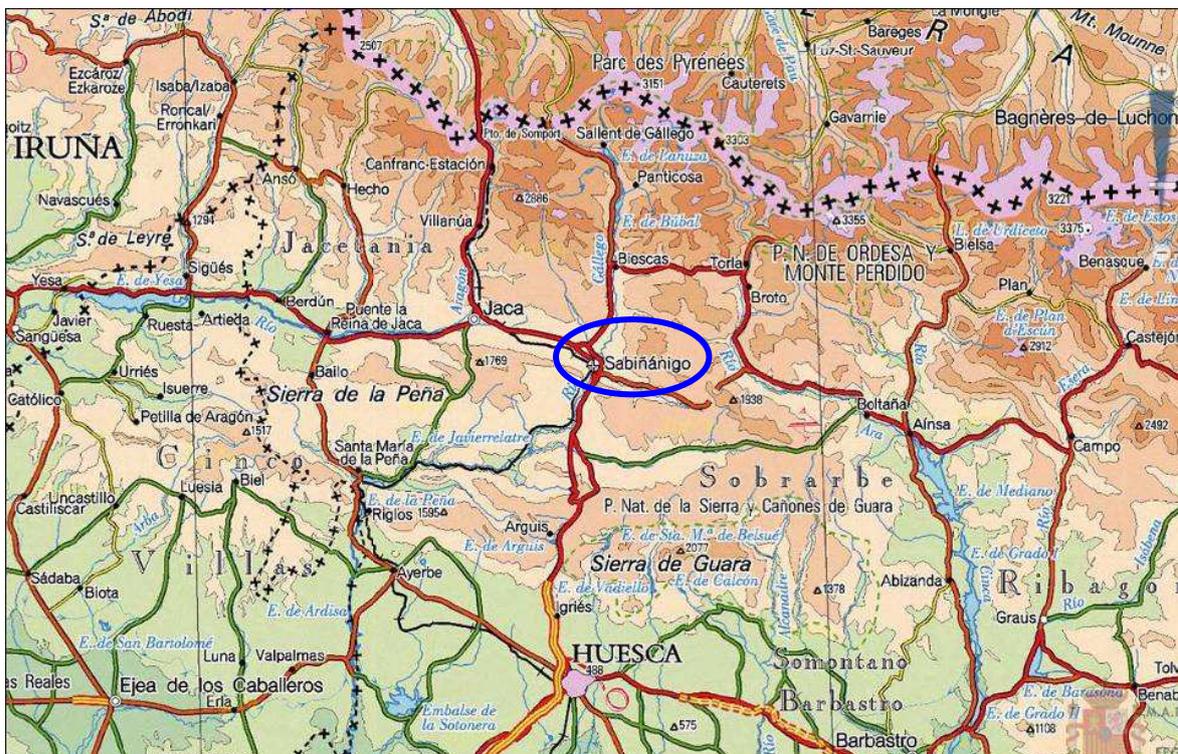
4 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO FÍSICO

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.

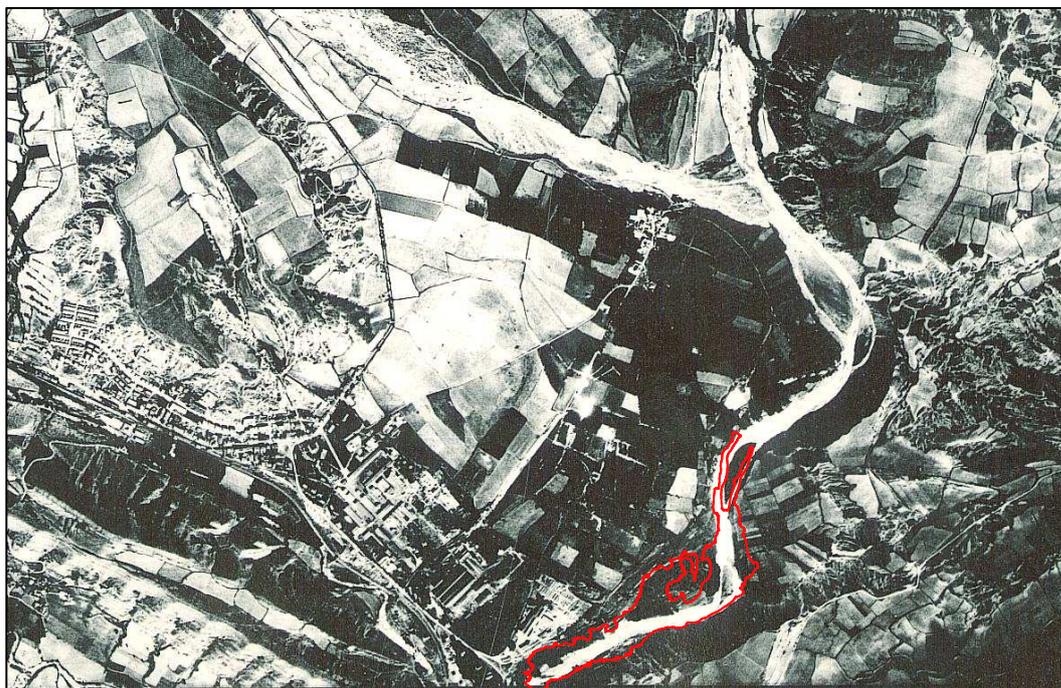
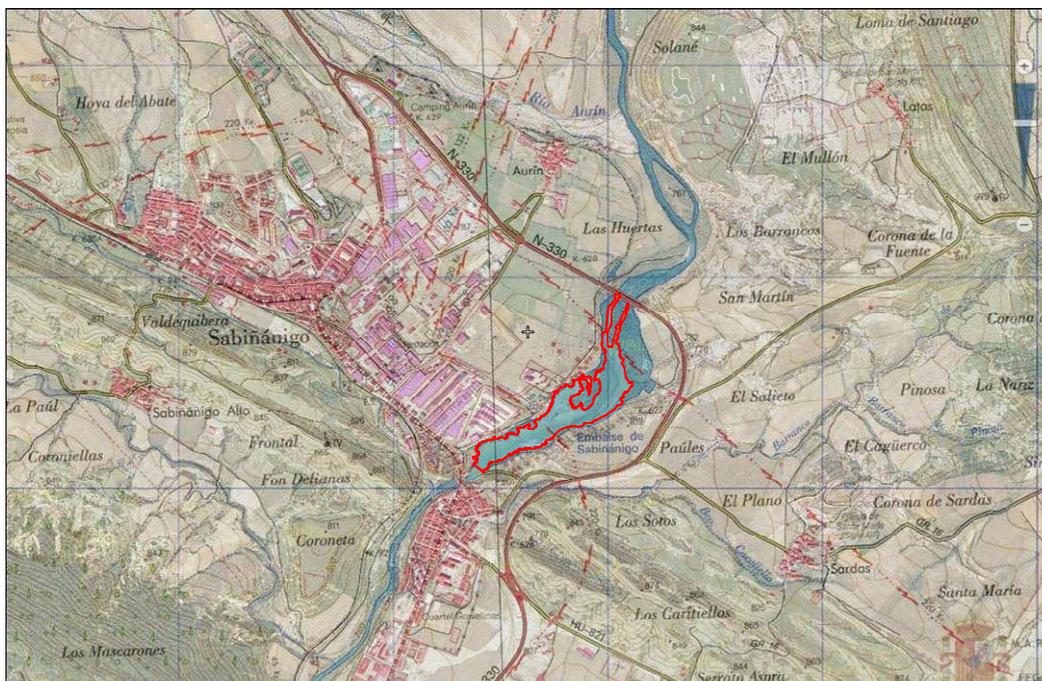


Figura 3: Ortofotografía aérea y topografía de la zona del embalse en 2008.



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 hm³. 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 hm³.

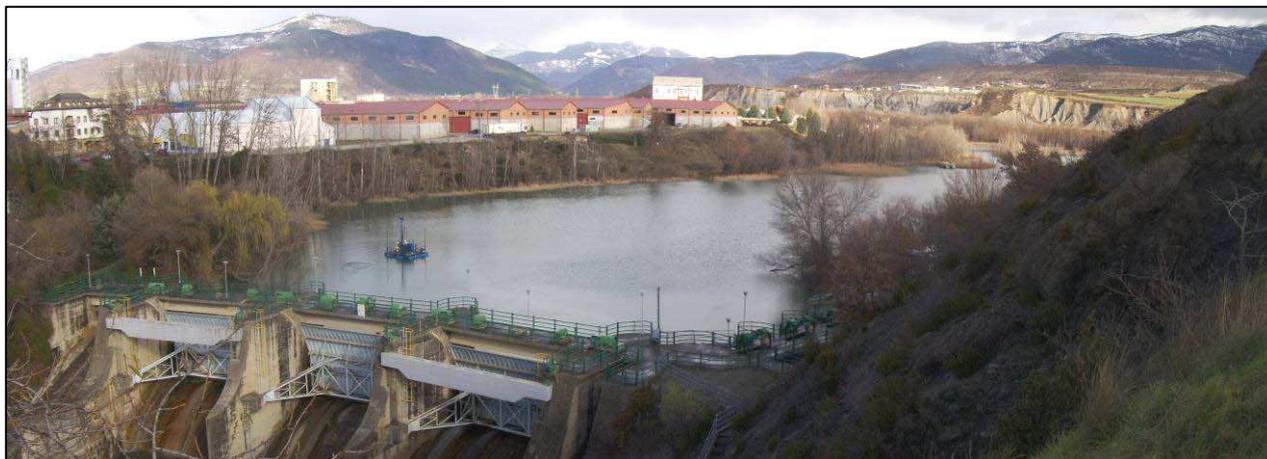
Ha sufrido un intenso proceso de aterramiento, estimándose que entre 1.965 y 2.009 se han depositado unos 780.000 m³ de sedimentos en el embalse.

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 está 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 areniscosas 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.

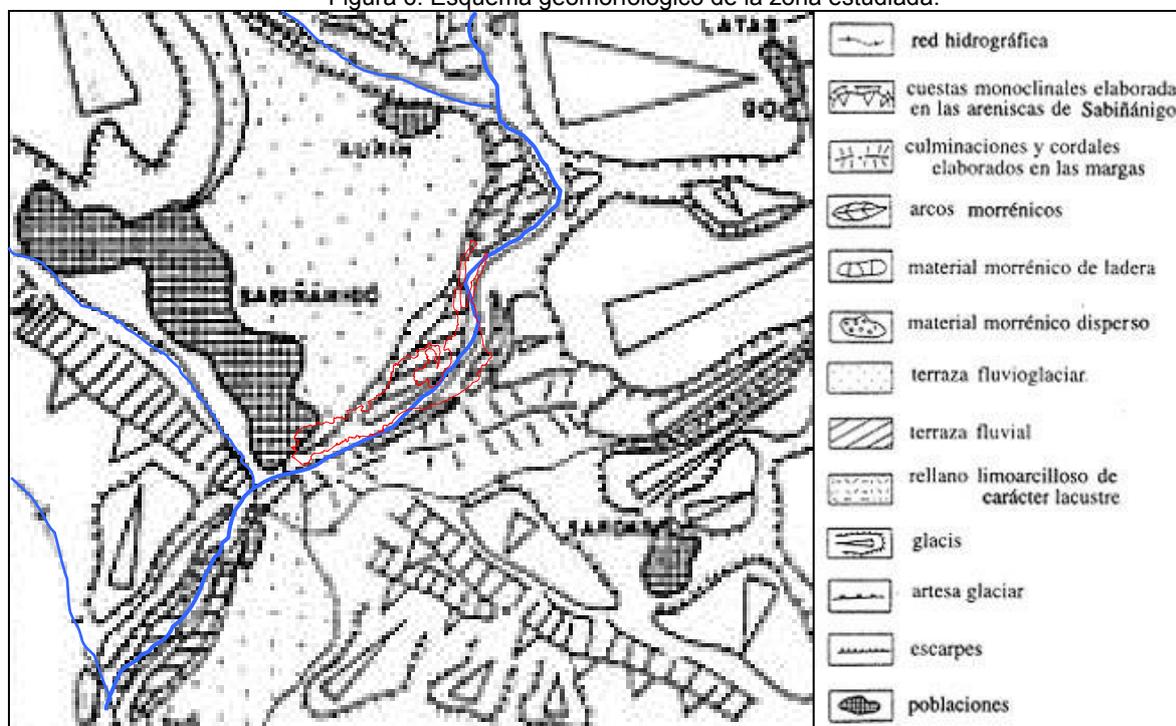


Finalmente, en el extremo sur aparece la zona de la cerrada del embalse, en la que se apoya la estructura de la presa sobre unos gruesos crestones de areniscas bastante verticalizadas.

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

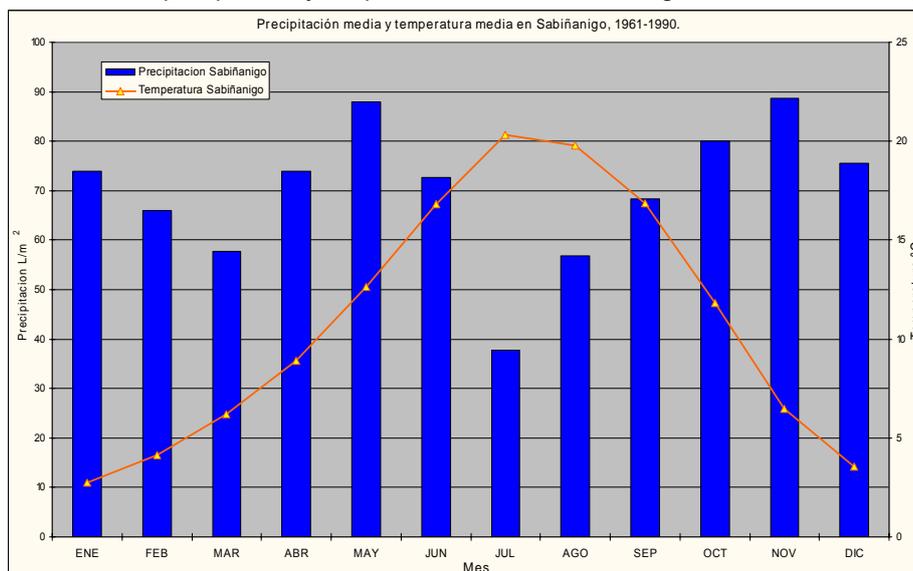
El clima de la zona se define como submediterráneo de montaña y se caracteriza por una marcada estacionalidad, pero con cierta influencia continental y atlántica. Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones húmedas y dos secas, con promedios anuales que oscilan entre 600 y 900 mm, y una media 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.



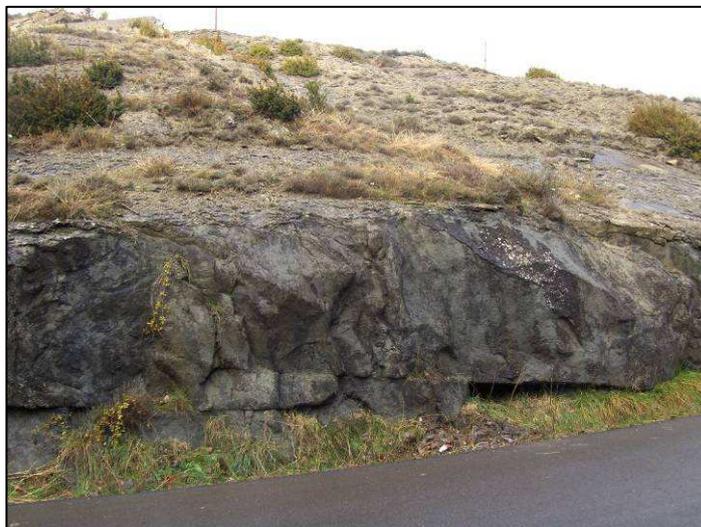
Areniscas y limolitas (Areniscas de Sabiñánigo)

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.

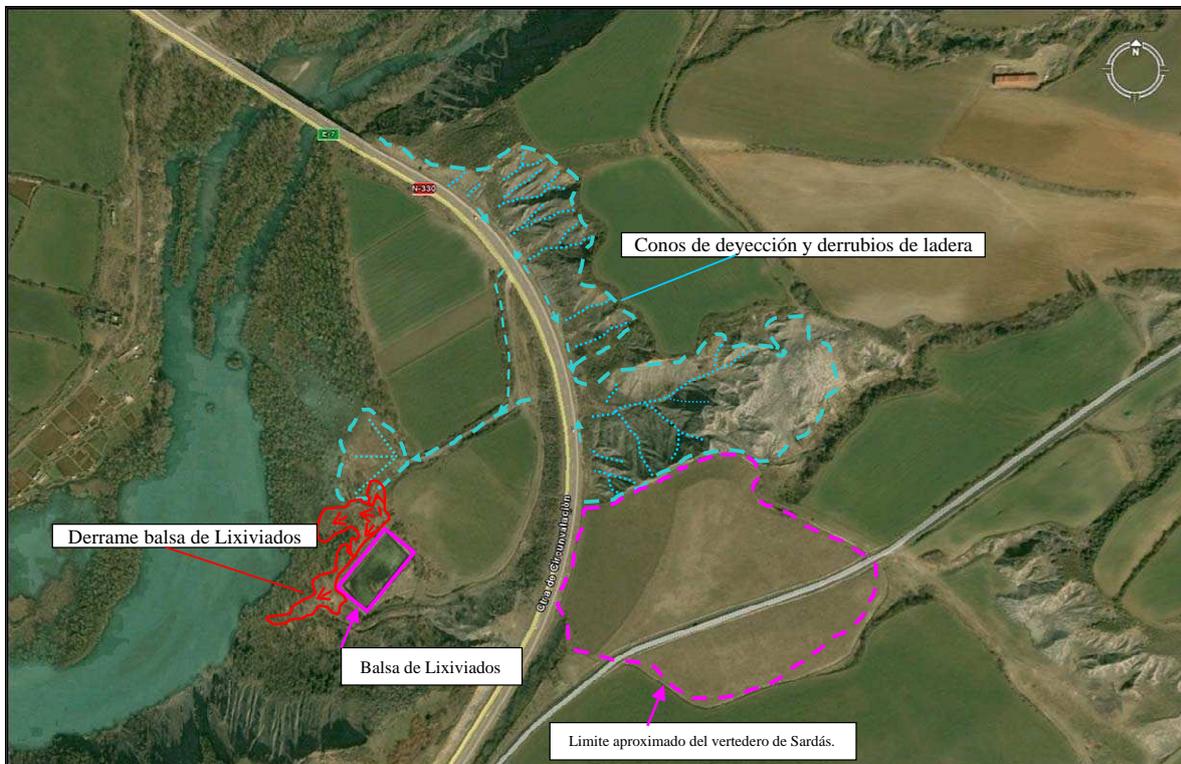
Actualmente estos depósitos están situados en el fondo del embalse por lo cual su dinámica es inexistente, permanecen inalterados.

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/m³, y una superficie de la zona de aporte de unas 0,5 hectáreas se puede estimar que el volumen erosionado es de unos 12 m³ 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 m³ 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 m² 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.

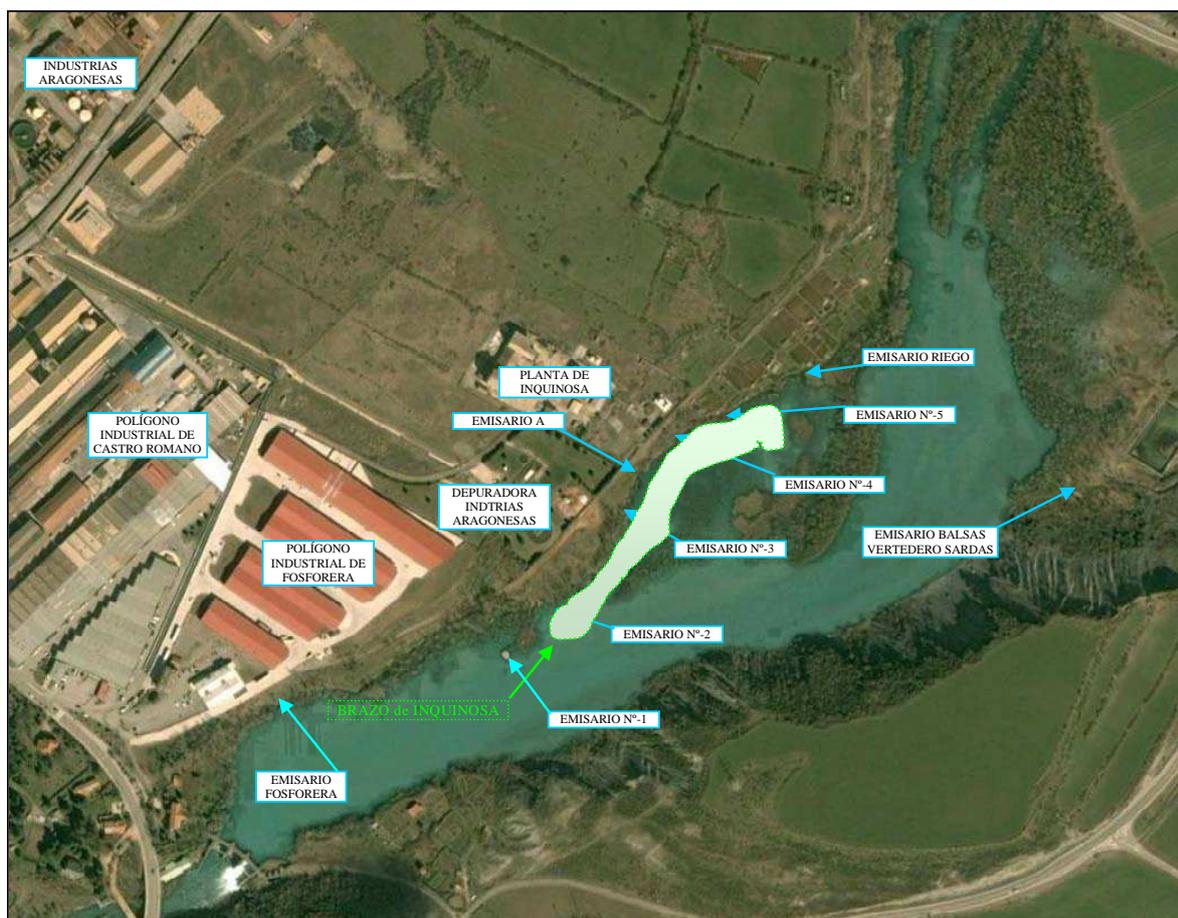
Durante el año 2.010, el Gobierno de Aragón ha instalado una depuradora portátil junto a las balsas de lixiviados de Sardas para el tratamiento de los efluentes del vertedero, previo a su vertido en el embalse. Los vertidos desde la depuradora se han iniciado durante el primer trimestre del año.

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.

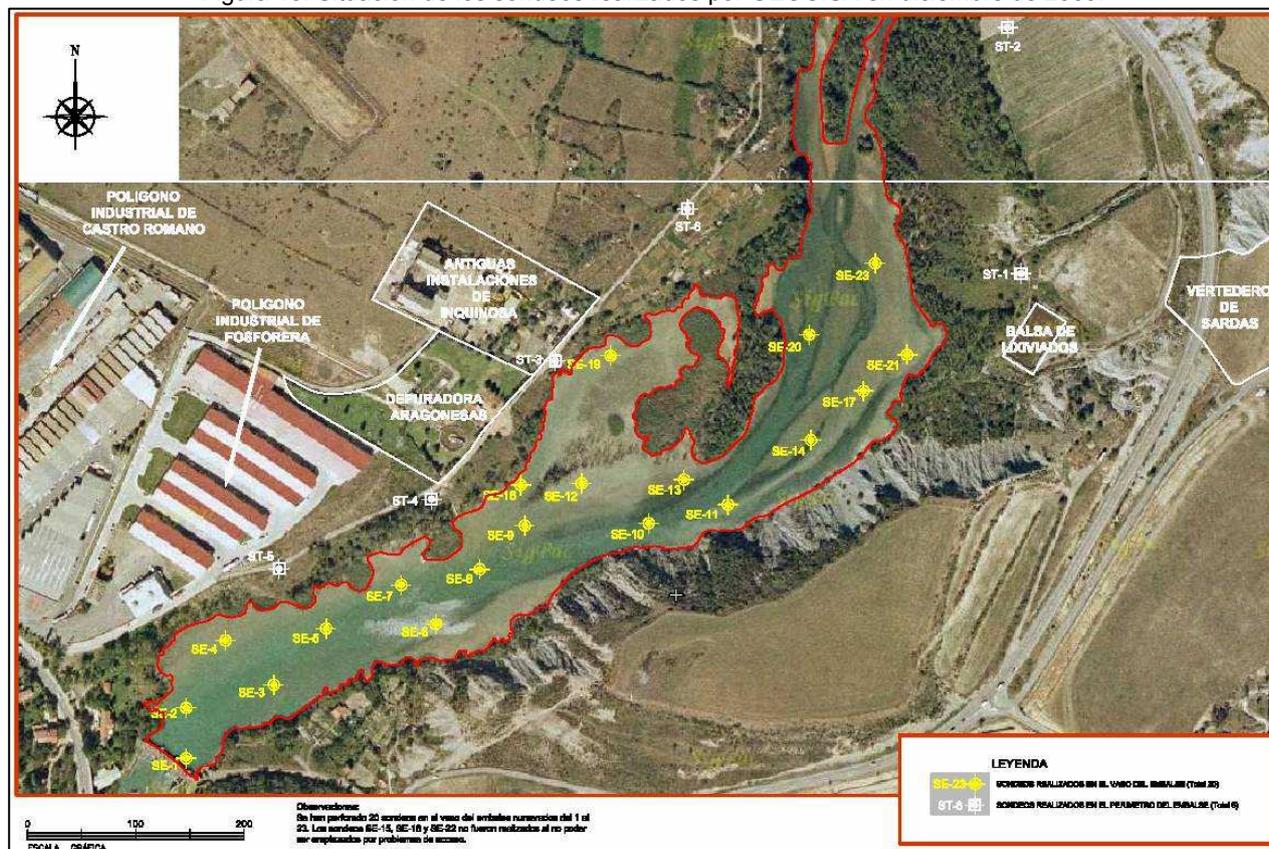
Tabla 2. Características generales de los sondeos realizados en el vaso del embalse.

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 2.010.

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.

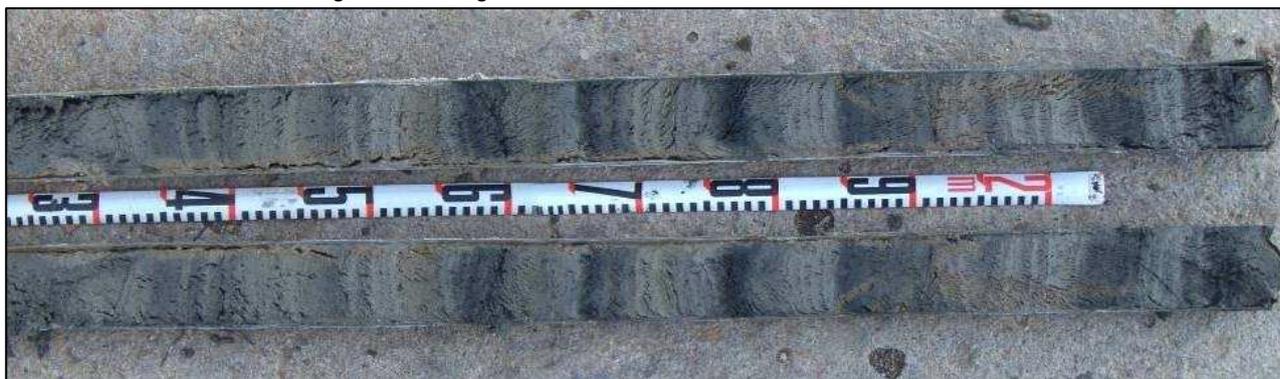
Son, fundamentalmente, de granulometría fina. Se trata de limos y arcillas con intercalaciones de niveles de arenas finas y esporádicamente medias. En algunos de los sondeos se han detectado ocasionalmente niveles de gravas finas.

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

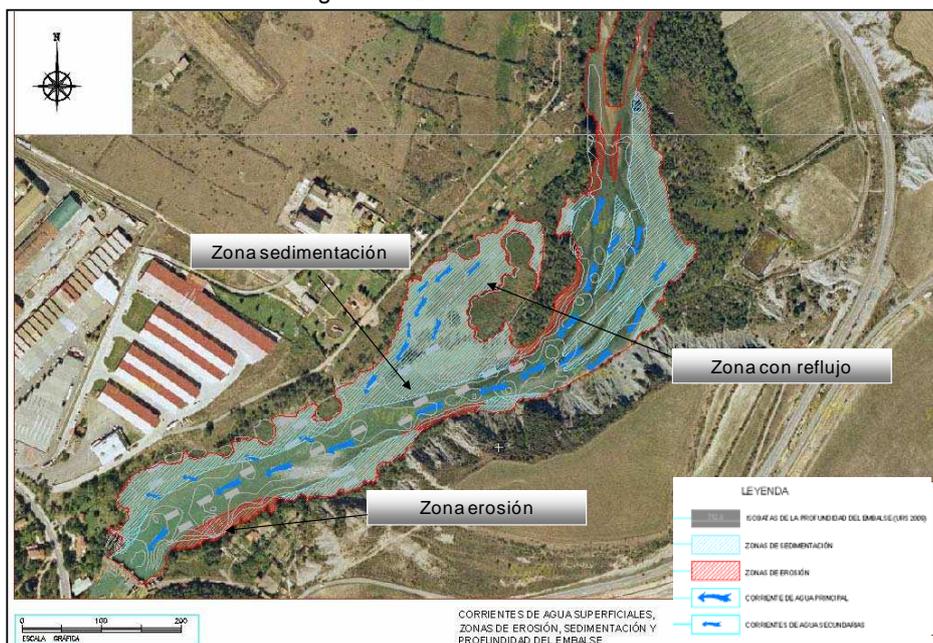
De cara a la delimitación de las zonas con sustancias orgánicas y/o metales, se ha tratado de establecer cual es la dinámica deposicional del embalse.

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	
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	Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas (Organismos acuáticos)
Material	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza	Terraza		
TPH	N.D.	15	N.D.	9,4	N.D.	N.D.	50 ⁽¹⁾	50 ⁽¹⁾
COV AROMÁTICOS								
Benceno	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	N.D.	N.D.	0,1	0,2
Resto de compuestos: no detectados							-	-
FENOLES							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS								
Diclorometano	N.D.	0,34	N.D.	N.D.	22	N.D.	0,6	-
Resto de compuestos: no detectados							-	-
CLOROBENCENOS								
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
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)								
No detectados							-	-
CLOROFENOLES							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS							En función del compuesto detectado	
No detectados							-	-
OTROS COMPUESTOS							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.	-	-
METALES							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.



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 ⁽¹⁾ 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			
ANALITO	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 ⁽²⁾	50 ⁽²⁾
COV AROMÁTICOS																
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	0,2
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	0,24
Resto de compuestos No detectados																
FENOLES																
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	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.	N.D.	N.D.	4	-
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS																
No detectados																
CLOROBENCENOS																
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	0,03
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	0,11
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	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.	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																
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)																
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	-
CLOROFENOLES																
No detectados																
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)																
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	0,05
Antraceno	mg/kg	N.D.	-	N.D.	0,16	0,08	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.	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.	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.	N.D.	N.D.	0,2	0,01
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	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.	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																
PESTICIDAS ORGANOCORADOS																
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	0,25
Beta-HCH	mg/kg	0,55	-	N.D.	N.D.	0,18	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.	0,01	0,01

(Continúa)

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 ⁽¹⁾ 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			
ANALITO	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.	-	-
Suma HCH	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																
PESTICIDAS NITROGENADOS																
Resto de compuestos No detectados																
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS																
Resto de compuestos No detectados																
OTROS COMPUESTOS																
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.	-	-		
METALES																
														BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales		
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.

ANÁLISIS	Analítica realizada	RD 9/2006	Geotest	Geotest	Geotest	Metales	RD 9/2005	Geotest	Geotest	COT	RD 9/2005	COT	Geotest	Geotest	RD 9/2005	
															Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
INVESTIGACIÓN		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		
	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.															
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
COV AROMÁTICOS																
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																
FENOLES																
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	-
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS																
No detectados																
CLOROBENCENOS																
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																
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)																
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	-
CLOROFENOLES																
No detectados																
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)																
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.	-	-
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS																
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	Análisis realizada	RD 9/2006	Geotest	Geotest	Geotest	Metales	RD 9/2005	Geotest	Geotest	COT	RD 9/2005	COT	Geotest	Geotest	RD 9/2005	
															Otros Usos del suelo	Protección ecosistemas
INVESTIGACIÓN	Profundidad	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	Organismos Acuáticos	
	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		
ANALITO	Ud.	Sedimentos														
Epsilon-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	N.D.	-	-
Suma HCH	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						-				-		-				
PESTICIDAS NITROGENADOS																
No detectados																
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS																
No detectados																
OTROS COMPUESTOS																
p-Cloroanilina	mg/kg	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	-	-	N.D.	-	-	-	0,3	0,01
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	N.D.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
METALES															BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales	
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	-

ANÁLISIS	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
INVESTIGACIÓN		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		
	Profundidad	1,50-1,60	3,50-3,60	4,85-4,95	1,50-1,70	3,00-3,10	0,40-0,60	5,10-5,20	5,80-5,90	8,60-8,70	9,40-9,50	2,70-2,90	3,90-4,00	7,00-7,10		
	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
COV AROMÁTICOS																
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																
FENOLES																
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	-							
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS																
No detectados																
CLOROBENCENOS																
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																
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)																
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	0,01	-							
CLOROFENOLES																
No detectados																
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)																
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																
PESTICIDAS ORGANOCOLORADOS																
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.	-	-



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	
INVESTIGACIÓN		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		
Profundidad		1,50-1,60	3,50-3,60	4,85-4,95	1,50-1,70	3,00-3,10	0,40-0,60	5,10-5,20	5,80-5,90	8,60-8,70	9,40-9,50	2,70-2,90	3,90-4,00	7,00-7,10		Organismos Acuáticos
Material		Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos	Sedimentos		
ANALITO	Ud.															
Epsilon-HCH	mg/kg	-	N.D.	N.D.	N.D.	-	N.D.	-	-							
Suma HCH	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		-														
PESTICIDAS NITROGENADOS																
No detectados																
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS																
No detectados																
OTROS COMPUESTOS																
p-Cloroanilina	mg/kg	-	N.D.	N.D.	-	-	-	-	N.D.	-	N.D.	-	N.D.	-	0,3	0,01
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
METALES															BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales	
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		
ANALITO	Ud.							
pH	-	-	-	6,8	-	6,7	-	-
COT	%	-	-	5,4	-	5,4	-	-
TPH	mg/kg	11	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	50	50
COV AROMÁTICOS								
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								
FENOLES								
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	-
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS								
No detectados								
CLOROBENCENOS								
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								
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)								
PCB (Suma 7 congéneres)	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,01	-
CLOROFENOLES								
No detectados								
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)								
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								
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS								
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
ANALITO	Ud.													
Epsilon-HCH	mg/kg	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	-						
Suma HCH	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														
PESTICIDAS NITROGENADOS														
No detectados														
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS														
No detectados														
OTROS COMPUESTOS														
p-Cloroanilina	mg/kg	-	-	N.D.	-	N.D.	0,3	0,01						
Tetraclorociclohexanos	mg/kg	-	-	-	-	-								
METALES							BOA 6/06/08 ORDEN 5/05/08 NGR Metales							
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
COV AROMÁTICOS									
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									
FENOLES									
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
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS									
No Detectados									
CLOROBENCENOS									
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
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)									
PCB (Suma 7 congéneres)	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	-	0.01
CLOROFENOLES									
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
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)									
Naftaleno	µg/l	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	0,07	0,36	-	70
Resto de compuestos: No Detectados									
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS									
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	-
Suma HCH	µg/l	46,53	0	0,27	0	0	0,35	0,5	1
Resto de compuestos No detectados									
PESTICIDAS NITROGENADOS									
No detectados									
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS									
No detectados									
SUMA PLAGUICIDAS	mg/l	46,53	-	0,27	-	-	-	0,5	-
OTROS COMPUESTOS DETECTADOS									



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

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.	-	-
METALES									
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		Fosfo*	Riego	Directiva 2008/105/CE	
ANALITO	Ud.			Media Anual	Concentración Máxima Admisible
TPH	mg/l	N.D.	N.D.	-	-
COV AROMÁTICOS					
No detectados					
FENOLES					
No detectados					
HIDROCARBUROS VOLÁTILES CLORADOS					
No detectados					
CLOROBENCENOS					
No detectados					
POLICLOROBIFENILOS (PCB's)					
No detectados					
CLOROFENOLES					
No detectados					
HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLI CÍCLICOS (PAH's)					
Benzo(b)fluoranteno	µg/l	0,06	N.D.	0,03	-
Resto de compuestos: no detectados					
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS					
-					
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	-	-	-	-
Suma HCH	µg/l	2,08	0,59	0,02	0,04
Resto de compuestos: no detectados					
PESTICIDAS NITROGENADOS					
No detectados					
PESTICIDAS ORGANOFOSFORADOS					
No detectados					
METALES					
-					
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	
DETERMINACIONES	Unidad																		
<i>Sobre el Eluato L/S=10 l/kg</i>																			
Test de Lixiviación																			
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
Metales																			
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
Otros																			
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
Parámetros Orgánicos Sobre el Residuo																			
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).

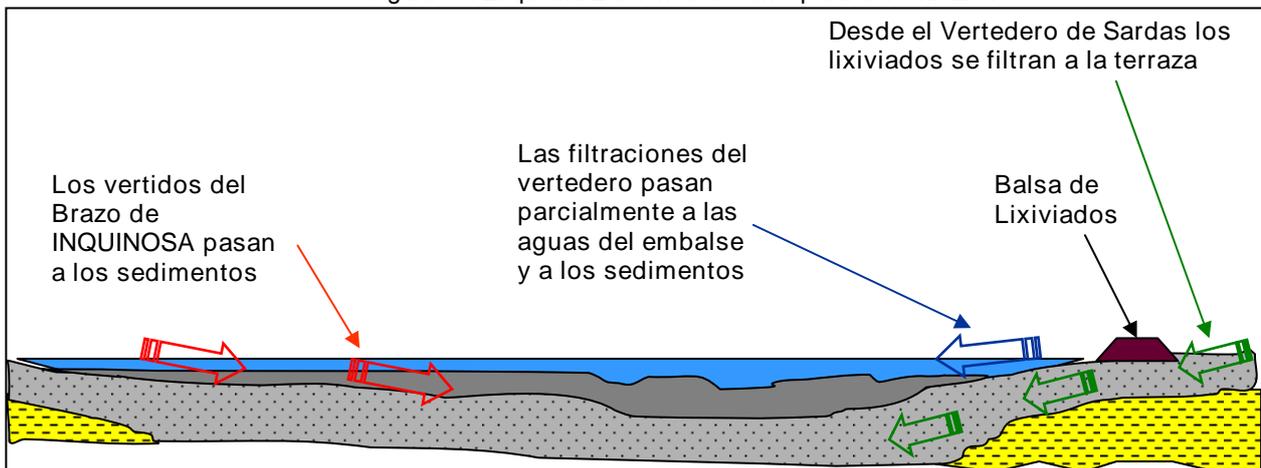
En este escenario, se asume que las aguas procedentes del Gállego, aguas arriba del embalse, están limpias y no aportan compuestos de origen industrial.

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 (%)
α -HCH	80-85	8-10%
β -HCH	7-11%	3-6%
γ -HCH (lindano)	1-2%	10-15%
δ -HCH	2-5%	40-50%
ε -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 ³	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/cm³, 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 clorobencenos 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/cm³ 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	-	-
COV AROMATICOS					
Benceno	mg/kg	22	10	2	2
CLOROBENCENOS					
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
PESTICIDAS ORGANOCLORADOS					
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	-	-
METALES					
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	-

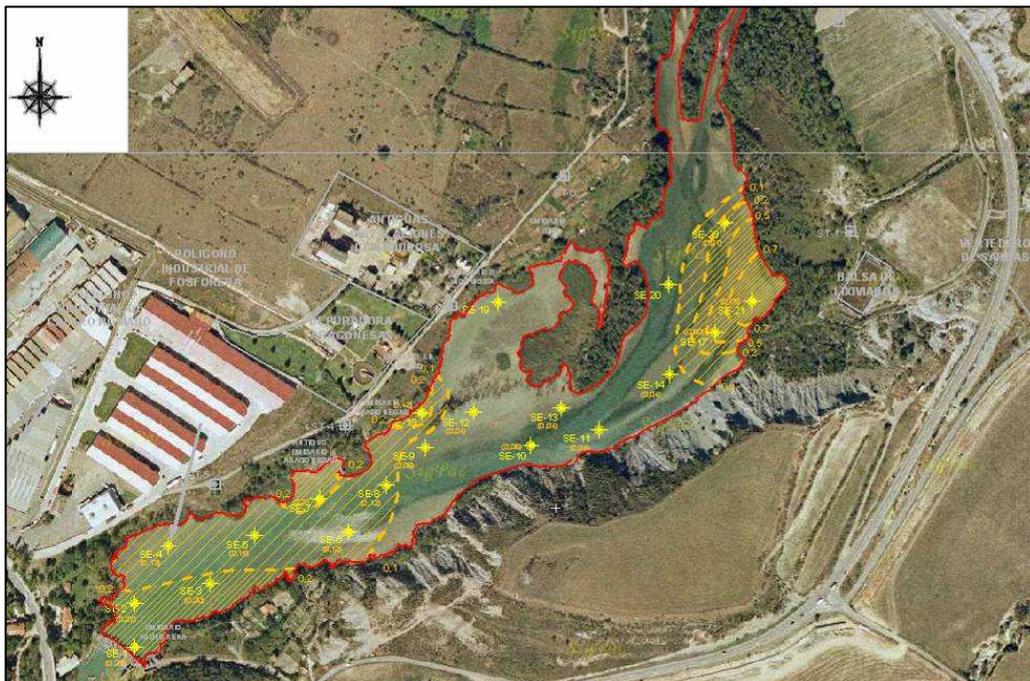
ANALITO	Ud.	Num Muestras	Num Muestras detectado	Num Muestras > NGR Otros Usos	Num Muestras > NGR O Acuáticos
Cobre	mg/kg	22	22	1	-
Níquel	mg/kg	22	22	0	-
Plomo	mg/kg	22	5	5	-
Zinc	mg/kg	22	22	0	-
Bario	mg/kg	22	11	0	-
Molibdeno	mg/kg	22	0	0	-
Vanadio	mg/kg	22	11	0	-
Berilio	mg/kg	22	0	0	-
Mercurio	mg/kg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

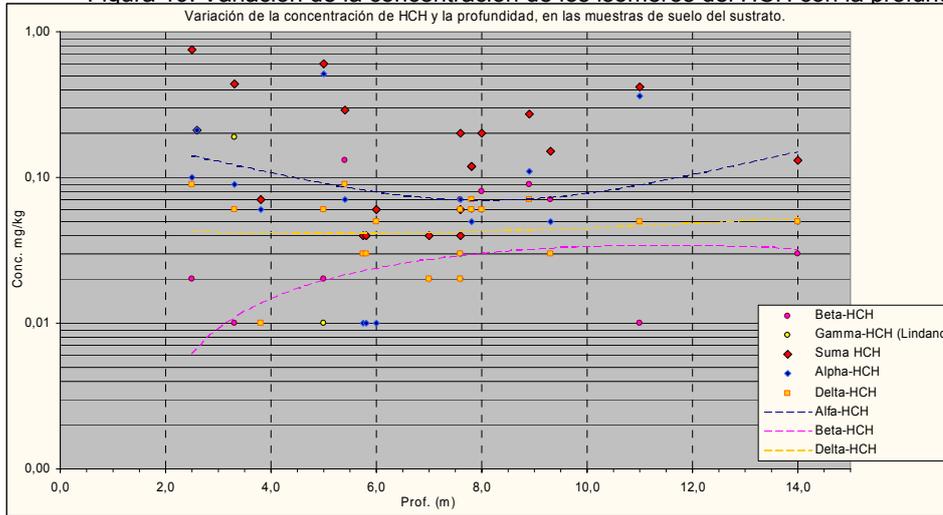
La presencia de HCH de forma generalizada confirma las conclusiones de los informes anteriores, registrándose los valores más elevados en la zona de influencia del vertedero de Sardas (véase la figura adjunta que se recoge igualmente en el Anejo “Planos”).

Figura 18: Distribución del HCH en las gravas cuaternarias.



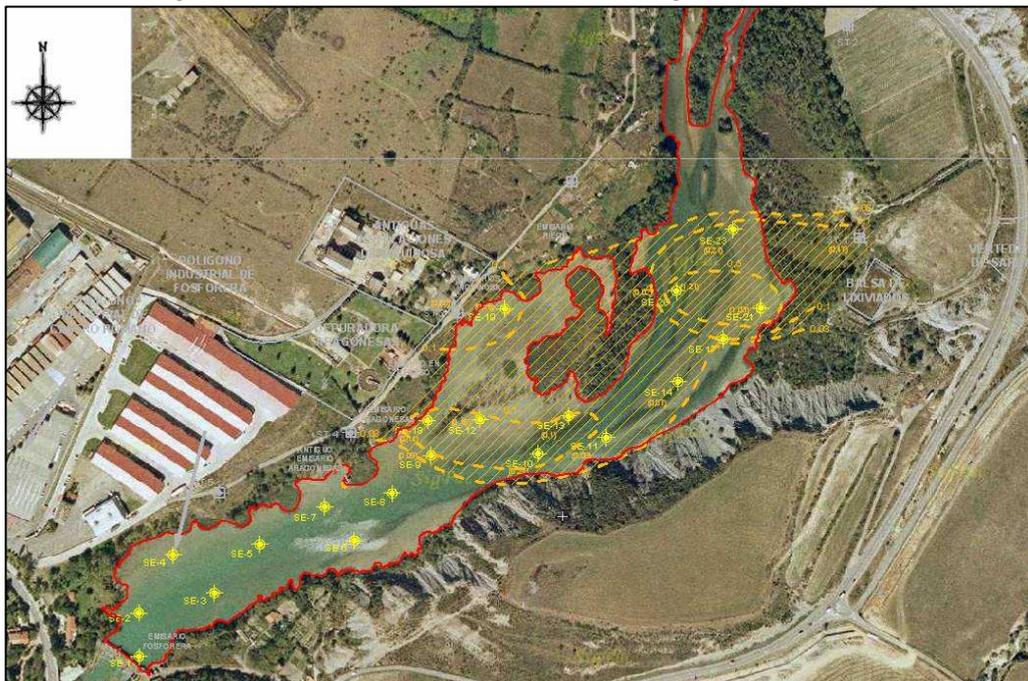
En la grafica de la figura siguiente se reflejan las concentraciones de los diferentes isómeros del HCH con respecto a la profundidad, y si bien aparentemente hay una ligera disminución de la cantidad de HCH total, ésta es muy poco significativa.

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



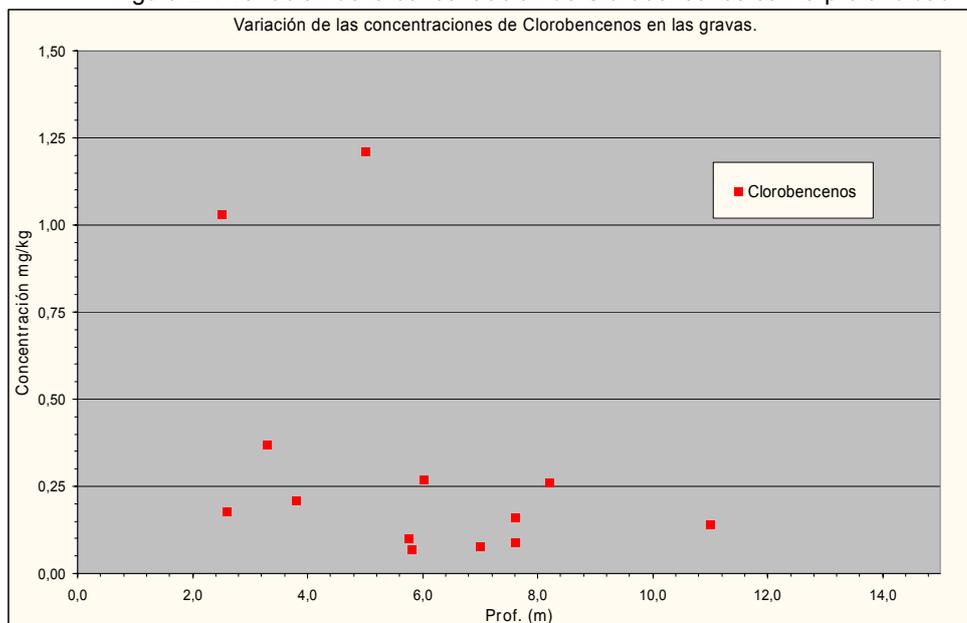
En lo que se refiere al otro compuesto orgánico que se ha detectado de forma más notable, - Clorobenceno (producto de degradación del HCH técnico, y utilizado en la purificación del lindano durante el proceso de producción)-, su distribución aporta información sobre el origen de la afección presente 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 m³, 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.

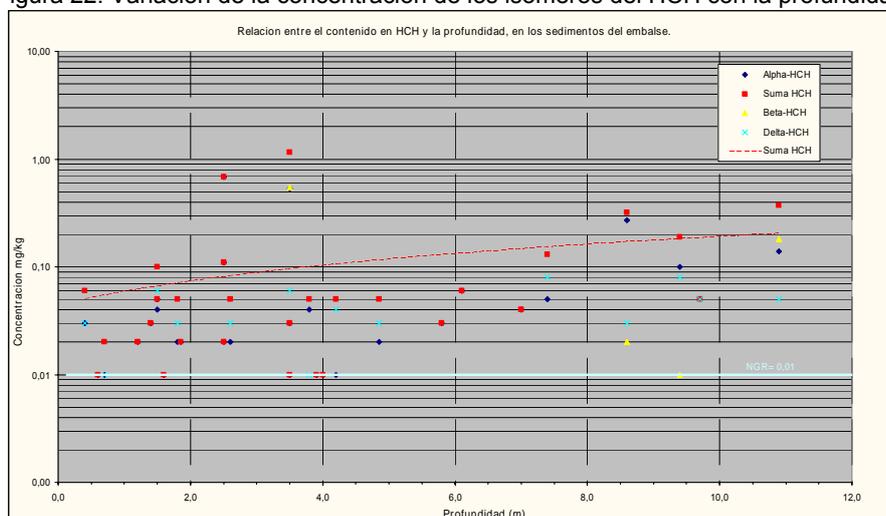


Figura 23: Variación de la concentración del benceno, fenol y clorofenol con la profundidad.

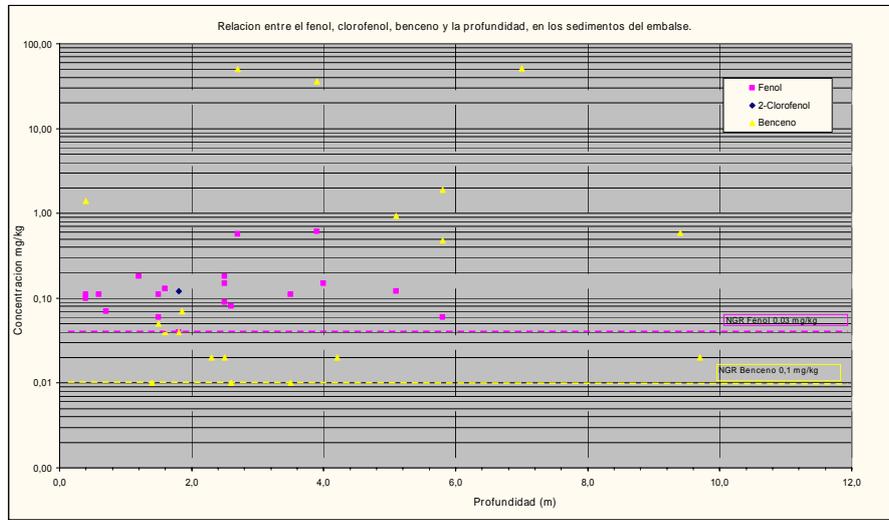


Figura 24: Variación de la concentración de los clorobencenos con la profundidad.

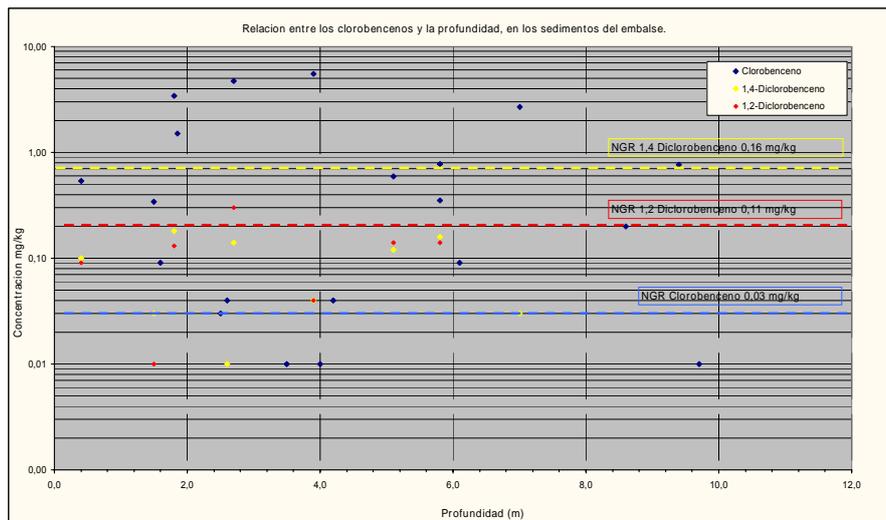
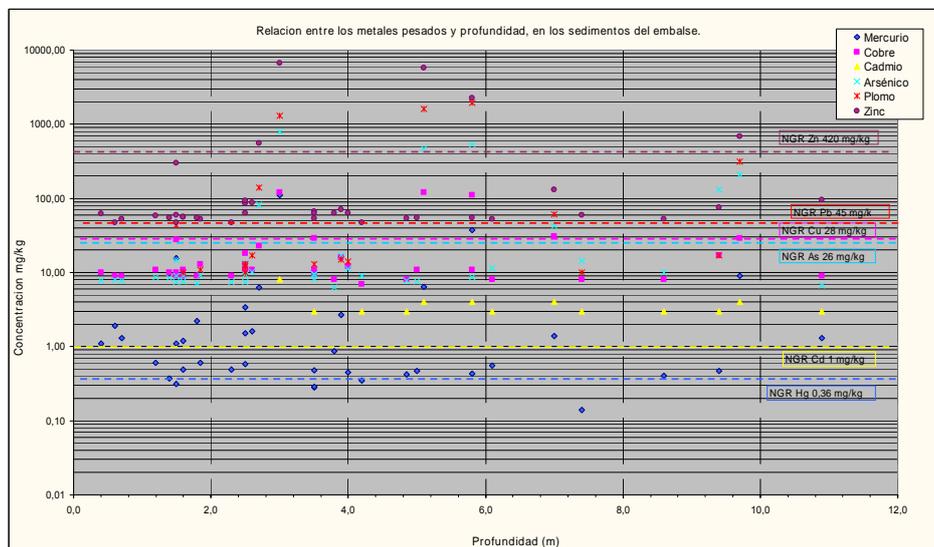


Figura 25: Variación de la concentración de metales con la profundidad.



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 α -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 m³, 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 α y β), 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:

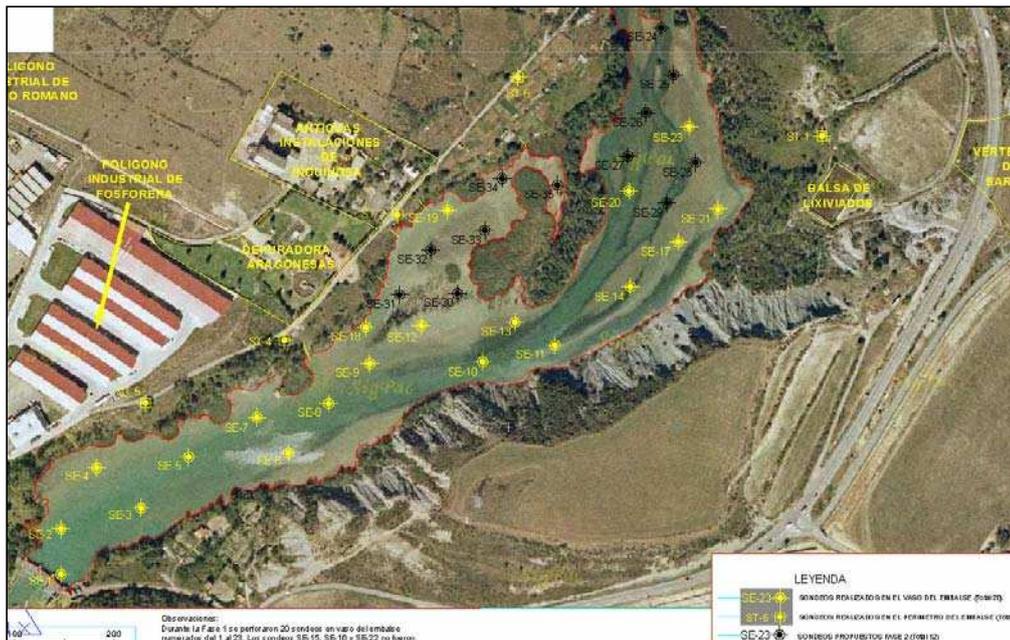
- En el *Brazo de Inquinosa*, ejecutar al menos seis perforaciones que deberán alcanzar una profundidad estimada de entre 16 y 18 m, con el fin de llegar al sustrato Terciario. Durante su ejecución se tomaran muestras de los materiales en las que se plantea el análisis de, al menos, los parámetros más 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.

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

DOCUMENTO 3: Evaluación de riesgos

Septiembre de 2010



ÍNDICE

ÍNDICE.....	2
ÍNDICE DE FIGURAS	2
ANEJOS	2
1 INTRODUCCIÓN	3
2 ANTECEDENTES	4
3 ANÁLISIS DE RIESGOS CUANTITATIVO SOBRE LA SALUD HUMANA.....	5
3.1 Modelo conceptual	5
3.2 Análisis de la toxicidad	9
3.3 Análisis de la exposición	11
3.4 Criterios de aceptación de riesgo	14
3.5 Herramienta informática	14
3.6 Desarrollo del modelo conceptual	15
3.7 Escenarios considerados	30
3.8 Caracterización del riesgo y resultados.....	34
3.9 Conclusiones.....	37
4 ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS.....	38
4.1 Escenarios analizados.....	38
4.2 Análisis de exposición	39
4.3 Resultados	40
4.4 Conclusiones.....	40
5 INCIDENCIA DE LOS FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN IDENTIFICADOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Plano de usos del suelo en el entorno del embalse de Sabiñánigo	28
Figura 2. Esquema resumen del escenario estudiado en la situación actual (contacto aguas embalse-embalse como receptor)	33
Figura 3. Esquema resumen de la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos de colmatación ..	34

ANEJOS

- A-1: Parámetros físico químicos de los compuestos
- A-2: Datos de entrada del programa
- A-3: Resultados y salidas del programa



1 INTRODUCCIÓN

El presente documento recoge los resultados de la evaluación de riesgos realizada por GEOTECNIA Y CIMENTOS, S.A. (GEOCISA), dentro de los trabajos de *Análisis ambiental de los sedimentos y del entorno del embalse de Sabiñánigo (Huesca) y evaluación de riesgos*.

Su ejecución surge como consecuencia de los resultados obtenidos en la caracterización medioambiental efectuada en este ámbito, y cuyos resultados aparecen reflejados en el Documento nº 2 que precede a esta evaluación de riesgos.

En dicho documento se concluye la presencia de compuestos orgánicos e inorgánicos en los sedimentos subyacentes, y en las aguas subterráneas de su entorno más inmediato, en algunos casos por encima de los valores de referencia establecidos.

Con objeto de evaluar las consecuencias que estas sustancias pueden tener sobre potenciales receptores, se ha efectuado el presente análisis en el que se contempla la situación actual del embalse y su entorno, así como posibles situaciones hipotéticas.

El Análisis se ha dividido en distintos capítulos en función del alcance y los objetivos perseguidos. Se ha elaborado un análisis cuantitativo con el fin de determinar los posibles riesgos sobre la salud humana, y un análisis preliminar para valorar los riesgos sobre los ecosistemas.

El objetivo principal de la evaluación de riesgos es la determinación de los riesgos sobre la salud humana y los ecosistemas, asociados a los compuestos detectados en la caracterización ya mencionada, así como facilitar la toma de decisiones para la gestión del hipotético riesgo.

El ámbito de actuación se limita al embalse de Sabiñánigo y a su entorno más próximo. Según la información facilitada por la CHE el agua del embalse no tiene ningún uso específico, por lo tanto, en el presente análisis de riesgos no se ha contemplado ni el consumo humano de agua (bebida o uso doméstico), ni para el riego de los cultivos colindantes.

La variación sustancial de las condiciones del emplazamiento bajo las cuales se ha realizado el análisis de riesgos, hará que los resultados obtenidos pierdan validez y sea necesaria la

realización de un nuevo análisis.

2 ANTECEDENTES

Los antecedentes del emplazamiento en cuanto al desarrollo industrial de la zona y a la justificación de la realización de los distintos estudios que se llevan haciendo desde el año 1.991, se han recogido en el documento de caracterización medioambiental (Documento nº 2).

En este apartado se hace exclusivamente una breve recopilación de los resultados obtenidos en dicha caracterización.

La investigación ha puesto de manifiesto la presencia de tres tipos de materiales dispuestos verticalmente en el embalse y su entorno: un sustrato terciario poco permeable representado por margas y areniscas por encima del cual se presentan unos depósitos aluviales y de terrazas bajas cuaternarios formados por gravas heterométricas de permeabilidad alta, y, finalmente, sedimentos de colmatación constituidos por arenas finas, limos y arcillas.

Se ha constatado la presencia de un acuífero superficial relacionado con los depósitos cuaternarios con una dirección de flujo hacia el embalse. La dinámica de las aguas superficiales en el embalse es variable, desde zonas de mayor energía en la margen izquierda, y zonas de acumulación en la margen derecha.

Los datos del laboratorio han arrojado los siguientes aspectos:

- ✚ En los materiales del sustrato gravoso cuaternario se ha detectado de forma generalizada Hexaclorociclohexano y, en menor medida, Clorobenceno, 1,2 Diclorobenceno, 1,4 Diclorobenceno, Cadmio y Mercurio. De forma puntual se ha registrado Benceno, PAH -Naftaleno, Antraceno- y otros metales pesados como Selenio, Cobre, y Plomo.
- ✚ En los sedimentos de colmatación la afección detectada tiene un carácter local, en especial en la zona de acumulación en la margen derecha (*Brazo Inquinosa*). Las sustancias presentes son similares a las anteriores: Hexaclorociclohexano, Clorobenceno, Benceno, Naftaleno, Antraceno, Fluoranteno, Pireno,

Benzo(a)antraceno, Benzo(b)fluoranteno, Benzo(a)pireno, Mercurio, Cadmio, Arsénico, Plomo, Zinc, y puntualmente Tolueno, Cobre, Antimonio y Molibdeno. Además, se ha registrado Fenol y TPH. Los ensayos de ecotoxicidad realizados en los sedimentos muestran que no son ecotóxicos.

- ✚ En las aguas subterráneas no se ha registrado presencia de sustancias con concentraciones superiores a los niveles de referencia, excepto en la zona del vertedero de Sardas, donde se ha detectado Hexaclorociclohexano, Benceno, Clorobencenos, Clorofenoles, Cadmio, y Plomo igualmente con valores por encima de los niveles de referencia.
- ✚ El agua intersticial de los testigos recogidos en dos de los sondeos perforados en la margen derecha presenta Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y α -HCH.

Como consecuencia de la afección detectada en los sedimentos y en el sustrato cuaternario y de las concentraciones de sustancias registradas en las aguas subterráneas se ha elaborado la presente evaluación de riesgos.

3 ANÁLISIS DE RIESGOS CUANTITATIVO SOBRE LA SALUD HUMANA

En este capítulo se realiza un análisis cuantitativo de riesgos asociado a la salud humana, por las sustancias detectadas en los sedimentos y en el agua subterránea del entorno más próximo al embalse de Sabiñánigo.

La evaluación de riesgos se determinará mediante la realización de un análisis basado en el modelo desarrollado por la *American Society For Testing and Materials* (ASTM), utilizando los datos obtenidos en los estudios realizados.

En los siguientes apartados se recoge la metodología empleada en la elaboración del ACR, los escenarios considerados y los resultados obtenidos.

3.1 Modelo conceptual

Las evaluaciones de riesgos suelen estar basadas en el estudio de una serie de escenarios posibles que responden a la situación actual de “usos del suelo”, y a situaciones futuras



previsibles. Por ello, es preciso proceder a la identificación de todos los parámetros que engloban cada escenario mediante la elaboración del modelo conceptual. La información empleada para su definición es extraída de los estudios e investigaciones llevados a cabo en la zona en estudio.

El modelo conceptual tiene como principal objetivo establecer la relación entre los distintos elementos que configuran el escenario de riesgos. Entre dichos elementos figuran:

- ↪ Foco de riesgo: medio que puede afectar negativamente sobre los receptores.
- ↪ Rutas de exposición: relacionan el foco de afección con los receptores finales de la misma.
- ↪ Receptores: población expuesta a las sustancias detectadas en el medio.

La ruta de exposición está compuesta por el propio foco de riesgo, el medio en el que se encuentra, los mecanismos de migración y la vía de exposición.

El modelo conceptual representa la base de los análisis de los distintos escenarios, por tanto, su definición debe ser lo más ajustada y precisa que sea posible. Ésta consiste en el análisis de los siguientes aspectos, que serán desarrollados con posterioridad:

- ↪ Caracterización de focos de riesgo.
- ↪ Selección de compuestos.
- ↪ Caracterización de los medios.
- ↪ Identificación de rutas de exposición.
- ↪ Identificación de los receptores.
- ↪ Definición de escenarios posibles.

Caracterización de focos de riesgo

Consiste en determinar la configuración y características de los focos de riesgo registrados. Para ello se definen las dimensiones espaciales del medio afectado (suelos, aguas subterráneas, etc.), las sustancias presentes, sus concentraciones, los gradientes de concentración existentes, etc.

El resultado de este análisis comprenderá, por tanto, el establecimiento de volumetrías y superficies de medios afectados, así como de las concentraciones de compuestos asociadas.



Selección de sustancias

Los estudios e investigaciones previas realizadas pueden haber puesto de manifiesto la presencia de una multitud de sustancias. Como parte del modelo conceptual se procede a la selección de aquellos que se consideren significativos de acuerdo a los siguientes criterios:

- ↪ Información disponible sobre concentración de compuestos en cada medio afectado y su distribución espacial.
- ↪ Presencia de compuestos cancerígenos, incluyendo datos de factores de pendiente de riesgo carcinogénico.
- ↪ Presencia de compuestos susceptibles de causar efectos tóxicos, incluyendo datos de dosis máximas admisibles.
- ↪ Grado de movilización del compuesto en el medio afectado.
- ↪ Persistencia en el medio.
- ↪ Subproductos que pudieran derivarse de la degradación de cada sustancia.

Caracterización del medio

Se trata de definir, a partir de las investigaciones realizadas, el medio sobre el que se localiza el emplazamiento así como su entorno inmediato. Entre la información más relevante se encuentra:

- ↪ Climatología.
- ↪ Geología.
- ↪ Hidrogeología regional y local, identificando acuíferos de interés, explotación, profundidad de las aguas subterráneas, flujos, parámetros hidráulicos, etc.
- ↪ Hidrología superficial.
- ↪ “Usos del suelo” (pasados, actuales y futuros), en el emplazamiento y en su entorno inmediato.
- ↪ Usos de las aguas subterráneas y superficiales (pasados, actuales y futuros), prestando especial atención a los puntos de aprovechamiento.

Identificación de las rutas de exposición

Los procesos que suponen que un receptor potencial pueda entrar en contacto con las sustancias generadas a partir del foco comprende la ruta de exposición. El modelo

conceptual del emplazamiento contiene todas aquellas posibles, independientemente de que posteriormente pueda ser descartada alguna de ellas por su escasa relevancia.

La ruta de exposición está condicionada por los siguientes factores:

- Foco y sustancias asociadas: Sus características ya se han descrito anteriormente.
- Medios donde se produce la movilización de los compuestos: Sus características se han mencionado en anteriores apartados.
- Mecanismos de migración de la afección: Comprende tanto los mecanismos de transporte (advección, difusión, etc.) y los de transformación (física, química o biológica) si se considera relevante. En el modelo conceptual se incluyen éstos mecanismos de modo cualitativo, procediendo en fases más avanzadas a la cuantificación, en la mayoría de los casos mediante modelos. Su descripción se efectúa en un apartado posterior.
- Receptores potenciales: Población expuesta a la afección.
- Vías de exposición: Identificación de las vías de exposición a través de las cuales puedan verse expuestos los receptores potenciales a las sustancias detectadas.

En líneas generales, se pueden identificar las siguientes vías de exposición:

- Inhalación de vapores orgánicos en ambientes exteriores o interiores.
- Inhalación de partículas en ambientes exteriores.
- Ingestión de suelo.
- Contacto dérmico con el suelo.
- Ingestión de agua (bebida, ducha, riego, baño, etc.)
- Contacto dérmico con el agua (bebida, ducha, riego, baño, etc.)
- Ingestión de alimentos.

El grado de exposición mediante estas vías estará condicionado por la actividad que se desarrolle y la particularidad de cada emplazamiento. Asimismo, la selección de qué vías serán aplicables dependerá de cada escenario de riesgos en cuestión.

Identificación de receptores

Consiste en la identificación de los receptores que puedan verse expuestos a la afección. En este sentido, en un análisis de riesgos para la salud humana la población pertenece a una



especie, por lo que el aspecto a determinar es el tipo de población a proteger (niños y/o adultos).

La selección del tipo de población a proteger está íntimamente relacionada con los usos del suelo. En suelos de uso industrial no es previsible la presencia de niños, por lo que la población es exclusivamente adulta.

Asimismo, en la identificación de receptores es necesario incluir el tipo de actividad que se lleva a cabo, especialmente en los casos de trabajadores de obras que puedan verse expuestos.

Definición de escenarios posibles

Como último paso en la elaboración del modelo conceptual, se procede a la definición de los escenarios posibles, los cuales relacionan los focos y compuestos con los receptores potenciales.

En esta etapa es preciso considerar las relaciones foco-ruta-receptor relevantes, prestando especial atención a aquellas que pudieran darse en el futuro. Además, se podrán seleccionar y establecer limitaciones (restricción de agua, etc.) y analizar su repercusión sobre el riesgo.

3.2 Análisis de la toxicidad

El objetivo de esta fase del análisis es ponderar las evidencias disponibles en relación al potencial de los compuestos de causar efectos adversos en los individuos expuestos, y de proporcionar, siempre que sea posible, una estimación de la relación entre el grado de exposición a la sustancia y el incremento de la probabilidad o severidad de dichos efectos adversos.

En el análisis de la toxicidad pueden distinguirse los siguientes apartados:

- Identificación del peligro: Es el proceso mediante el cual se determina si la exposición a un agente químico puede causar un incremento en la incidencia de un efecto adverso para la salud, y si ese efecto adverso es probable que tenga lugar en humanos. La identificación del peligro supone la caracterización de la naturaleza e intensidad de la evidencia de la relación causa-efecto.
- Establecimiento de las relaciones dosis-respuesta: es un proceso de evaluación cuantitativa de la información toxicológica por el que se caracteriza la relación entre la dosis del

compuesto administrada o recibida y la aparición de un efecto adverso sobre la salud en la población expuesta. A partir de esta evaluación cuantitativa se derivan unos valores numéricos (valores de toxicidad), que serán usados en la fase de caracterización del riesgo para estimar la probabilidad de que se produzcan efectos adversos en humanos a diferentes niveles de exposición.

La derivación de tales valores numéricos no es objeto del análisis de riesgos, sino que éstos son generados por la comunidad científica y suministrados por diversos organismos a través de sus bases de datos toxicológicos.

Entre las principales fuentes de información toxicológica destacan:

- ↪ O.M.S. (Organización Mundial de la Salud): Se emplean los valores de referencia establecidos a través de la JECFA (“Joint FAO/WHO Expert Comité on Food Additives”)
- ↪ U.S.-E.P.A. (United States. Environmental Protection Agency): Bases de datos IRIS (Integrated Risk Information System).

En resumen, los componentes que se consideran en el análisis de la toxicidad son:

- ↪ El tipo de efecto adverso asociado a cada sustancia y en relación a cada tipo de población expuesta.
- ↪ La relación entre la magnitud de la exposición y la magnitud de los efectos adversos.

Dentro del análisis de la toxicidad, es importante discernir entre los efectos cancerígenos y efectos tóxicos:

- ↪ Los efectos cancerígenos son aquellos que producen cáncer en los diversos órganos del cuerpo humano. Pueden encontrarse a través de distintas vías, siendo las más comunes ingestión e inhalación. Los datos de exposición se configuran de acuerdo a factores de pendiente, partiendo de la premisa de que cualquier exposición es susceptible de generar cáncer. El criterio que fija la dosis máxima admisible es, por tanto, la aceptabilidad del número de cánceres que puedan generar en la población. Este aspecto se desarrolla en un capítulo posterior.
- ↪ Los efectos tóxicos son aquellos que no generan cáncer. Las vías de exposición estudiadas suelen ser ingestión, inhalación y contacto dérmico, estableciendo para cada vía la dosis máxima aceptable que no genera efectos. Este aspecto se desarrolla más adelante.

3.3 Análisis de la exposición

Tiene por objeto la estimación del tipo de magnitud de la exposición a las sustancias tanto en el emplazamiento como en el área de influencia del mismo, afectado a través de la dispersión. El análisis debe efectuarse tanto para las condiciones actuales como futuras de uso del suelo y debe incluir la identificación de las poblaciones expuestas, las rutas de exposición y la duración y frecuencia de la exposición para cada una de las rutas. El resultado final de dicho análisis es el cálculo de las dosis que previsiblemente recibe el individuo para cada una de las rutas. Dicha cuantificación constituye un elemento crítico del proceso de análisis de riesgo.

En este apartado se describen únicamente los aspectos relacionados con la determinación de la magnitud de la exposición, contemplando aquellos parámetros que lo condicionan, ya que la determinación de usos del suelo, identificación de receptores y vías de exposición se han descrito en capítulos anteriores.

3.3.1 Estimación de la exposición

Estimación de la exposición por cada una de las rutas

Consiste en la cuantificación de la magnitud, frecuencia y duración de la exposición para las distintas poblaciones y rutas de exposición seleccionadas como resultado de las fases anteriores.

Se lleva a cabo en dos etapas: en primer lugar se estiman las concentraciones de exposición en los medios de contacto y a continuación se cuantifican las ingestas específicas para cada ruta. La combinación de ambos elementos permite calcular la ingesta máxima razonable para cada una de las vías.

Se denomina ingesta a la exposición normalizada para el tiempo y peso corporal, expresada en: *mg compuesto x kg-1 peso corporal x día-1*. La fórmula genérica para el cálculo de la ingesta es la siguiente:

$$IDE = C \cdot \frac{TC \cdot FE \cdot DE}{PC} \cdot \frac{1}{TM}$$

donde:

IDE ingesta; se expresa como la cantidad del compuesto en la capa límite (puerta de entrada al organismo) de intercambio y por tanto disponible para la absorción.

C	concentración de exposición para el medio de contacto considerado.
TC	tasa de contacto, indica la cantidad de medio contaminado contactado por unidad de tiempo o suceso.
FE	frecuencia de exposición.
DE	duración de la exposición.
PC	peso corporal, correspondiente al peso corporal medio durante el periodo de exposición.
TM	tiempo promedio de exposición, periodo en el que se promedia la exposición.

Los tres términos de que consta la ecuación corresponden a variables relacionadas respectivamente con la afección (concentración de exposición), con las características de la población expuesta (peso corporal, altura, superficie corporal, etc.) así como su patrón de actividad (tasa de contacto, frecuencia y duración de la exposición), y con el enfoque de la evaluación (tiempo promedio de exposición).

3.3.2 *Combinación de la exposición por diferentes vías*

La exposición máxima razonable o exposición combinada para cada escenario concreto se calcula como sumatorio de la exposición por las diferentes vías.

Si los efectos del compuesto sobre el receptor difieren dependiendo de la ruta de entrada en el organismo, se calculará el sumatorio de las exposiciones para cada una de las rutas de entrada, siempre que se disponga de información toxicológica para valorar los diferentes efectos.

En todos los casos, se presentará una estimación de la contribución de las distintas vías a la exposición total en el emplazamiento. Esta información puede permitir el establecimiento de medidas dirigidas a la limitación de dicha exposición.

3.3.3 *Criterios para la cuantificación de la exposición*

Concentración de la exposición

Es la concentración (C) en el punto o puntos de contacto a lo largo del periodo de exposición para cada uno de los medios. El enfoque en la estimación debe ser conservador.

Los datos en los que se basa el cálculo son de dos tipos:

- Datos analíticos correspondientes a la caracterización química del emplazamiento. Pueden utilizarse directamente siempre que la exposición implique contacto directo con

el medio analizado. Los datos analíticos serán tratados separadamente para un medio concreto en base a las subáreas y vías de exposición identificadas.

- b) Valores resultantes de datos analíticos usados en conjunción con modelos de transporte y comportamiento ambiental de los compuestos. Permiten definir la concentración en aquellos puntos de exposición en los que no se dispongan datos (concentración en espacios cerrados, etc.)

Peso Corporal (PC)

El valor empleado en la estimación deberá corresponder al peso corporal medio a lo largo del periodo de exposición. Si la exposición sólo tiene lugar durante la infancia se utilizará el peso corporal medio durante este periodo. Para aquellas vías de exposición para las cuales la tasa de contacto difiere mucho según las edades entonces se calculará un peso medio para cada grupo de edad.

Tasa de contacto (TC)

La tasa de contacto refleja el intercambio con el medio por unidad de tiempo. Si existen datos suficientes para una aproximación estadística, la tasa de contacto se calcula como el límite superior razonable de la tasa de ingesta media; en caso contrario la estimación se basará en la opinión experta.

Frecuencia y duración de la exposición (FE y DE)

El objetivo a la hora de definir estos parámetros de cara al cálculo final es el de estimar el tiempo total de exposición en el emplazamiento.

Tiempo medio de exposición (TM)

Se selecciona en función del tipo de efecto tóxico. Es necesario que el periodo de cálculo de exposición coincida con el de la referencia toxicológica empleada.

- ↪ Para tóxicos que afectan al desarrollo o crecimiento, la ingesta se calcula promediando para el periodo de exposición real.
- ↪ Para tóxicos de efectos por exposición aguda, la ingesta se calcula promediando para el periodo de exposición más corto que produce efectos.
- ↪ Para tóxicos no cancerígenos de efectos por exposición duradera, la ingesta se calcula



promediando las ingestas a lo largo del periodo de la exposición (subcrónico o crónico).

- Para compuestos cancerígenos, la ingesta se calcula promediando para toda la vida del individuo la dosis total acumulativa como resultado de esta exposición. Se estima que la duración media de la vida es de 70 años.

3.4 Criterios de aceptación de riesgo

En este apartado se describen los criterios de aceptación del riesgo, tanto por efectos cancerígenos como por efectos tóxicos. Dicho criterio es el que permitirá definir si las concentraciones existentes en el emplazamiento pueden derivar en la existencia de riesgos para la salud humana.

- Efectos cancerígenos: De acuerdo a lo especificado en el RD 9/2005, se ha considerado como criterio de evaluación de los efectos cancerígenos un valor de 10^{-5} (frecuencia esperada de aparición de cáncer para los receptores expuestos de uno por cada cien mil casos), tanto por compuestos individuales como por efectos acumulativos.
- Efectos tóxicos: De acuerdo a lo especificado en el RD 9/2005, se ha contemplado que el cociente entre la dosis recibida por un receptor potencial y la dosis máxima admisible, sea inferior a la unidad, tanto por compuestos individuales como por efectos acumulativos.

3.5 Herramienta informática

El Análisis Cuantitativo de Riesgos se elaborará empleando el programa informático *RBCA TOOL KIT for Chemical Releases*, basado en el modelo desarrollado por la *American Society For Testing and Materials (ASTM)*. Este modelo se describe en la norma *ASTM PS-104 Standard Provisional Guide for Risk-Based Corrective Action*, cuyos procedimientos siguen los criterios de actuación de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA) (1.989).

El modelo utilizado (Tier 2) permite el cálculo del riesgo asociado a la presencia de sustancias, tanto en el propio emplazamiento considerado, como en potenciales receptores situados a distancias variables del foco causante de la afección.

En función de las vías de exposición consideradas puede utilizar varios modelos de transporte para visualizar la movilización de la afección y calcular las concentraciones de las distintas sustancias en el punto de exposición.

Estos modelos de transporte se pueden dividir entre los que suponen una transferencia de los compuestos entre dos medios distintos (por ejemplo, volatilización desde el suelo al aire) y los que simplemente suponen un transporte y dilución en el mismo medio (por ejemplo, el transporte en aire).

En el primer caso, el modelo de transporte se emplea para el cálculo de un factor de transferencia entre los dos medios (llamado genéricamente Cross-Media Transfer Factor) con el que calcular, posteriormente, la concentración en el punto de exposición a partir de la concentración en el medio.

En el segundo caso, el modelo de transporte se emplea para el cálculo de un factor de transporte (llamado genéricamente Lateral Transport Factor), el cual se aplica a la concentración en un punto dado, para predecir la concentración que habrá a una cierta distancia de dicho punto.

La cuantificación del resultado se genera sumando los coeficientes para cada sustancia y ruta de exposición considerada, recogiendo en el caso del riesgo individual la más crítica de todas, que será la que condicionará la situación. Por último, se recoge la ruta de exposición más crítica (*Critical Exposure Pathway*) que será la que finalmente condicionará la caracterización del riesgo.

3.6 Desarrollo del modelo conceptual

A continuación se resumen los aspectos más relevantes del modelo conceptual elaborado para el embalse de Sabiñánigo.

3.6.1 Descripción general del emplazamiento

En el informe de caracterización que precede a este documento se hace una descripción detallada del emplazamiento. En este estudio se incluyen únicamente una serie de consideraciones que facilitarán la comprensión de la evaluación de riesgos realizada.

El embalse de Sabiñánigo se sitúa sobre el río Gállego a su paso por el municipio de Sabiñánigo en la provincia de Huesca, a unos 45 km al norte de Huesca capital, hallándose lindando por el sureste con el casco urbano de Sabiñánigo.

Fue construido en el año 1.965 para la producción de energía eléctrica, abarcando una superficie de 11 ha, con una capacidad de almacenamiento en el momento de su construcción de 0,873 hm³. En 2.009 la capacidad de almacenamiento se había reducido hasta 0,093 hm³ debido a la colmatación causada por la acumulación en la cerrada de materiales erosionados y transportados desde áreas situadas aguas arriba por el propio el cauce. El volumen de estos sedimentos de colmatación se estima en unos 780.000 m³.

El caudal medio de circulación de aguas a través de la cerrada del embalse es de 15-18 m³/s.

Según la información facilitada por la CHE, las aguas superficiales del embalse no tienen un uso específico en la actualidad, y el primer punto de aprovechamiento de las aguas del río Gállego aguas abajo del embalse se localiza a unos 17 km del mismo.

Desde principios de la década de 1.990 la Confederación Hidrográfica del Ebro dispone de una estación de alerta perteneciente a la red SAICA localizada en el río Gallego a la altura de Jabarella (a unos 5 km del embalse), a través de la cual se obtienen los datos relativos a la calidad del agua del río.

En el Anejo 7 del documento de caracterización se recogen los resultados obtenidos en los últimos años.

3.6.2 Caracterización de focos de riesgo y selección de sustancias asociadas

Como principales focos de riesgo se han considerado los sedimentos de colmatación y las aguas subterráneas del entorno más próximo, que presentan compuestos orgánicos e inorgánicos de acuerdo a los resultados de los ensayos analíticos realizados.

A continuación se describen las características más relevantes de cada uno de ellos:

Sedimentos de colmatación

El foco primario de riesgo lo constituyen unos 780.000 m³ de sedimentos de colmatación cuyo origen se atribuye a los materiales terciarios y cuaternarios del entorno, y que abarcan una superficie del orden de 11 ha.

Los ensayos granu2 1 indican que se trata de materiales tipo limos arcillosos depositados por decantación, y arenas finas depositadas en regimenes de flujos tranquilos.

La caracterización medioambiental concluyó que éstos presentan compuestos orgánicos y metales, superándose los valores de referencia para la protección de la salud humana en los parámetros que se citan a continuación, y que serán considerados en la presente evaluación de riesgos:

- ↪ *Orgánicos*: HCH (isómeros α y β), Benceno, Clorobenceno, hidrocarburos policíclicos aromáticos (Benzo(a) Antraceno, Benzo(b)Fluoranteno, Benzo(a)pireno) y TPH.
- ↪ *Metales*: Mercurio (Hg) de forma generalizada, y Cadmio (Cd) Arsénico (As), Cobre (Cu), Plomo (Pb), Cinc (Zn), y Antimonio (Sb) y Molibdeno (Mo) de forma puntual. En el momento de la elaboración de este documento se desconoce la forma en la que se encuentran, por lo que se parte de la base de que será en forma inorgánica.

Además, el agua intersticial contenida en los materiales de dos de los puntos de muestreo efectuados en la margen derecha del embalse presentó Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y α -HCH. Esta circunstancia será igualmente valorada en la evaluación de riesgos para estudiar posibles afecciones sobre potenciales receptores que puedan entrar en contacto directo con el agua superficial.

Las concentraciones registradas de cada uno de ellos y su distribución espacial quedan recogidas en los Planos del Anejo I de la caracterización.

Aguas subterráneas

La migración de la carga de afección con el flujo subterráneo constituye un potencial riesgo sobre el embalse.

En los sondeos perforados en el entorno el nivel freático se ha localizado a una profundidad entre 1,32 m y 5,34 m medidos desde la superficie, y la dirección de flujo local se ha determinado hacia el embalse.

Las sustancias presentes que superan los niveles de referencia son:

- ↪ *Orgánicos*: Benceno, Clorobenceno, 1-2 Diclorobenceno, 1-4 Diclorobenceno, 1-2-4 Triclorobenceno, 2,4,6 Triclorofenol, y la Suma de isómeros HCH.
- ↪ *Metales*: Cadmio y Plomo.

Los parámetros físico-químicos y toxicológicos más relevantes de las sustancias contempladas se recogen en el Anejo I.

3.6.3 Características toxicológicas de las sustancias detectadas y evaluación preliminar del riesgo

A continuación se recogen, para cada uno de los parámetros contemplados en la evaluación de riesgos, las características más relevantes a efectos de la realización del estudio, así como una breve valoración preliminar de los efectos que sobre la salud humana implica su presencia en los sedimentos y/o las aguas en la situación actual, a falta de los resultados de la valoración cuantitativa que se desarrollará en capítulos posteriores.

Hexaclorociclohexano (HCH)

Denominado también hexacloruro de benceno (HCB), principal sustancia detectada en el embalse, es un compuesto clorado de fácil fabricación mediante la cloración fotoquímica del benceno, lo que da lugar a la formación del denominado HCH técnico constituido por cinco isómeros estables, alfa, beta, gamma, delta y epsilon, y que se comercializa como pesticida.

El isómero α -HCH es el compuesto principal del HCH técnico. Es moderadamente persistente en suelos y muy persistente en aguas frías. Debido a esta persistencia puede registrarse en el medio a bajas temperaturas durante largos periodos y bioacumularse en los tejidos animales.

Es susceptible a la degradación biótica y abiótica con una tasa función del clima y el medio. En climas tropicales su degradación es rápida mientras que en climas fríos se produce su acumulación. Es biodegradable en medios abióticos por procesos como la fotodegradación o la hidrólisis, esta última depende fuertemente de la temperatura.

El α -HCH es el isómero con mayor efecto neurotóxico, hepatotóxica, y clasificado como cancerígeno para los humanos (grupo 2B, según la *Internacional Agency for Research on Cancer* (IARC)).

Los datos sobre los efectos adversos del Alfa HCH en especies animales son muy escasos. Varios estudios han señalado que es un compuesto muy tóxico para los organismos acuáticos determinando una concentración con efectos adversos inferior a 1 mg/l en algas, zooplancton y peces (IPCS 1992, ECOTOX 2007).

El isómero Beta HCH no se elabora como tal, sino como constituyente del HCH técnico en un porcentaje entre el 5 % y 14 %. Las mayores concentraciones de exposición se registran



en aquellas zonas donde se lleva a cabo su elaboración, almacenamiento, gestión o bien en aquellas donde el HCH se usa de forma extensiva como insecticida.

Debido a sus propiedades físicas y químicas que le confieren mayor estabilidad y resistencia a la hidrólisis, y a los procesos de degradación enzimática, el beta HCH es el isómero predominante en el suelo y en el tejido animal.

Está clasificado por la IARC dentro del grupo 2B como cancerígeno, e incluido por la EPA en la IRIS (*Integrated Risk Information System*) como compuesto con efectos cancerígenos sobre la salud humana. Ensayos toxicológicos realizados en laboratorio sobre animales han determinado que tiene efectos adversos sobre el sistema neurológico, y de reproductividad, y es extremadamente tóxico para organismos acuáticos.

El delta HCH, tampoco se elabora como tal sino como constituyente del HCH técnico en un porcentaje entre 6 % y 10 %. Igualmente, las mayores concentraciones se registran en áreas donde se lleva a cabo su elaboración y gestión como residuo. No se dispone de datos toxicológicos suficientes pero se considera como compuesto con efectos tóxicos y cancerígenos.

El resto de los isómeros del HEXACLOROCICLOHEXANO no han sido detectados en los sedimentos de colmatación, ni en los depósitos cuaternarios.

Dadas las características de los isómeros del HCH detectados en los sedimentos, y que el principal isómero registrado es el alfa HCH, el riesgo sobre la salud humana se considera bajo, pues es muy poco probable que pueda existir un contacto directo con los sedimentos dado el uso actual del embalse.

Benceno C₆H₆

El benceno es un hidrocarburo aromático incoloro, que se elabora de manera artificial derivándose de otros hidrocarburos, o bien se encuentra de forma natural. Es muy volátil, e inflamable y poco soluble en agua.

La principal vía de exposición al benceno es por inhalación, que puede producir, dependiendo de la tasa, desde somnolencia, mareo y hasta la muerte. Igualmente la ingestión de altas concentraciones de benceno en los alimentos causa en humanos vómitos, irritación y hasta la muerte. La exposición prolongada afecta a la sangre y a la médula ósea.

Una exposición prolongada a altas concentraciones en el aire puede tener efectos cancerígenos. La EPA, así como el IARC han determinado que es una sustancia cancerígena en seres humanos.

En los sedimentos de colmatación, esta sustancia se ha registrado únicamente de forma puntual y con bajas concentraciones, tanto en los propios sedimentos como en el agua intersticial.

A priori, sobre la base de los datos facilitados, y teniendo en cuenta que la vía crítica de exposición para este compuesto es la inhalación, el riesgo que generarían estas sustancias sobre la salud humana en la situación actual se estima muy bajo, en tanto en cuanto los sedimentos con presencia de Benceno se encuentran sumergidos (lo que limita su migración al aire y con ello su posterior inhalación).

Clorobenceno C_6H_5Cl

El clorobenceno es un compuesto cíclico aromático derivado del benceno mediante una reacción de halogenación en la que se sustituye uno o más de los hidrógenos por cloro. Es igualmente un líquido incoloro, volátil y sumamente inflamable, pero con menor solubilidad en el agua.

Es muy tóxico para los organismos acuáticos. La exposición por inhalación provoca somnolencia, dolor de cabeza y náuseas, y a mayores tasas de inhalación llega a ocasionar espasmos musculares y efectos adversos en la médula ósea. El contacto dérmico causa deshidratación, enrojecimiento, y aspereza mientras que la ingestión, además de los síntomas provocados por inhalación, produce dolores abdominales. La EPA ha determinado que no es clasificable como cancerígeno en seres humanos.

Su presencia en los sedimentos es puntual, por lo tanto la probabilidad de su volatilización al aire se considera casi nula. Igualmente, la exposición por contacto dérmico con los sedimentos se puede considerar como improbable dado el uso real del embalse.

Sobre la base de estos datos se puede concluir que el riesgo sobre la salud humana por la presencia del clorobenceno en los sedimentos en la situación actual es bajo.



Fenol C₆H₅OH

Es un sólido cristalino de color blanco a incoloro. Se trata de un compuesto que se obtiene industrialmente mediante la oxidación del Isopropil benceno. Es corrosivo, inflamable, con un fuerte olor característico, y sus gases son explosivos en contacto con la llama. Es moderadamente soluble y se evapora más lentamente que el agua.

La exposición al fenol se produce fundamentalmente en zonas donde existen plantas de su manufacturación, o bien cerca de vertederos donde se realiza su gestión. Su inhalación en altas concentraciones puede causar envenenamiento, vómitos e irritación de las vías respiratorias. El contacto dérmico produce quemaduras de la piel, y por ingestión causa quemaduras internas y la muerte.

Sólo se ha detectado de forma puntual en los sedimentos, y en la situación actual la probabilidad de exponerse a dicha sustancia se considera prácticamente nula (el sedimento está sumergido lo que limita la generación de volátiles, y el contacto directos con estos materiales es inexistente) y, por lo tanto, el riesgo sobre la salud humana es muy bajo.

Naftaleno C₁₀H₈

Es un hidrocarburo aromático policíclico. Es muy volátil e inflamable, insoluble en el agua quedando adherido fuertemente a las partículas de los sedimentos, y muy soluble en disolventes orgánicos. No persiste en el medio ya que es fácilmente biodegradable por bacterias y por la luz solar. Tiene un factor de bioacumulación bajo por lo que no se acumula en los tejidos animales.

La exposición a este compuesto se puede producir por ingestión oral, inhalación y/o contacto. En general se considera poco tóxico para los seres humanos y muy tóxico para los organismos acuáticos. La exposición a altas concentraciones causa anemia hemolítica, formación de cataratas, produce sensibilizaciones y puede provocar la muerte, y posibles efectos cancerígenos.

Basándose en estos datos y teniendo en cuenta que solo se ha detectado su presencia de forma puntual en los sedimentos, y del mismo modo que en casos anteriores, considerando el uso actual del embalse, el riesgo en la situación actual sobre la salud humana se considera muy bajo.

Antraceno C₁₄H₁₀

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido a temperatura ambiente, de color amarillo pálido a incoloro. Se adhiere fuertemente a las partículas de los sedimentos sin disolverse en el agua.

Su entrada al medio natural se produce por emisiones y vertidos procedentes de plantas que lo emplean en sus procesos industriales. Las mayores exposiciones a los humanos se dan, principalmente por inhalación causando efectos tóxicos y dificultades respiratorias, e igualmente, por ingestión o contacto dérmico provocando irritación de la piel y de los ojos.

La presencia del antraceno en el embalse es muy puntual, limitándose a 9 muestras de sedimento y, dadas sus vías de exposición más críticas y el uso real del embalse, el riesgo sobre la salud humana en la situación actual vuelve a considerarse muy bajo.

Fluoranteno C₁₆H₁₀

Es igualmente un hidrocarburo aromático policíclico sólido de color amarillo claro, casi insoluble en agua pero muy soluble en alcohol, éteres y benceno.

La principal exposición al fluoranteno se produce por su inhalación junto con finas partículas, y en menor medida, por ingestión y contacto dérmico. Es el hidrocarburo aromático policíclico que se detecta con más frecuencia en las aguas y está considerado como muy tóxico para los organismos acuáticos. No está clasificado como cancerígeno.

El Fluoranteno sólo se ha registrado en tres muestras de sedimentos, y dado que estos se encuentran cubiertos por una lámina de aguas superficiales el riesgo sobre la salud humana en la situación actual por la exposición a este compuesto mediante la inhalación de partículas se estima muy bajo.

Pireno C₁₆H₁₀

Es otro hidrocarburo aromático policíclico sólido de color amarillo claro a incoloro, muy volátil a altas temperaturas. No hay datos suficientes sobre su toxicidad, pero una exposición puntual por contacto causa enrojecimiento en la piel y en los ojos. Es bioacumulable detectando concentraciones en crustáceos, peces, algas y moluscos.

Igual que en el caso del fluoranteno, el pireno sólo se ha detectado en tres muestras de sedimento todas ellas recogidas en el mismo punto, por lo que la exposición a dicha sustancia se considera muy improbable y, por lo tanto el riesgo sobre la salud humana en la situación actual sigue siendo muy bajo.

Benzo (a) antraceno $C_{18}H_{12}$

Es un hidrocarburo aromático policíclico sólido en forma de cristales blancos o polvo que se produce de forma natural de la combustión incompleta de hidrocarburos fósiles, de allí que es una sustancia común en el aire y en las masas de aguas superficiales encontrándose adherido a finas partículas.

En el caso de un vertido a aguas superficiales es rápidamente adsorbido por los sedimentos y por las partículas en suspensión en la columna de agua, y, de allí, por ingestión en la dieta, se bioconcentra en los tejidos de los organismos acuáticos. La fracción restante es rápidamente degradada por fotólisis o por oxidación. Su fuerte adherencia a las partículas de sedimento impide su desorción a las aguas superficiales o su lixiviación hacia las aguas subterráneas.

La exposición al benzo(a) antraceno se produce por ingestión, inhalación y/o contacto dérmico. No hay datos suficientes sobre su toxicidad en humanos y está clasificada dentro del grupo 2B como probable cancerígeno para los seres humanos.

No obstante, dada su presencia puntual en los sedimentos del embalse (3 muestras recogidas en el mismo punto) y su ausencia en las aguas del mismo, la exposición se considera muy improbable y por tanto el riesgo sobre la salud humana en la situación actual muy bajo.

Benzo (a) pireno $C_{20}H_{12}$

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido en forma de polvo o cristales de color amarillo pálido e inodoro. Se forma por condensación de cinco anillos de benceno durante los procesos de combustión a temperaturas entre 300°C y 600°C. Es poco o nada soluble en agua debido a sus propiedades hidrofóbicas. Se usa como endurecedor, como arenas de moldeo, y como fluido de corte.

La exposición al benzo (a) pireno se produce por ingestión, inhalación y/o contacto dérmico. Es altamente tóxico considerado como uno de los hidrocarburos aromáticos de mayor factor de riesgo y potencialmente cancerígeno de clase 2A según la IARC. Provoca irritación de la piel, alteración en la reproducción, y origina lesiones genéticas. Es muy tóxico para los organismos acuáticos, y a largo plazo provoca efectos negativos en el medio.

El riesgo por la exposición al benzo (a) pireno sobre la salud humana se considera bajo en la situación actual, dado que, independientemente de sus efectos adversos sobre la salud humana y el medio, su presencia en el embalse se reduce a tres muestras de sedimentos todas ellas recogidas en el mismo punto.

Benzo (b) fluoranteno $C_{20}H_{12}$

Es un hidrocarburo aromático policíclico, sólido en forma de cristales coloreados. Es prácticamente insoluble en agua y soluble en benceno, acetona y alcoholes. Se forma por combustión incompleta de hidrocarburos fósiles.

La exposición se produce por inhalación, ingestión y/o contacto dérmico. No hay datos suficientes de toxicidad en humanos pero esta considerada como una sustancia con afectos adversos al medio ambiente. Según la IARC hay suficientes evidencias de que el benzo (b) fluoranteno es cancerígeno.

Su presencia se reduce a tres muestras de sedimentos recogidas en un único punto, por lo que la exposición se considera poco probable y por lo tanto el riesgo en la situación actual sobre la salud humana se estima bajo.

Mercurio (Hg)

Es un metal pesado presente de forma natural en el medio, principalmente bajo forma de menas de cinabrio (sulfuro de mercurio). Su movilidad depende fundamentalmente de la formación de complejos orgánicos e inorgánicos, y de su evaporación tras la descomposición.

La exposición al Hg elemental es principalmente por inhalación, con efectos sobre el sistema nervioso, pudiendo producir otros efectos como bocio, taquicardia, pulso lábil, gingivitis, irritabilidad, temblores, pérdida de memoria y salivación intensa. Está clasificado por la IARC dentro del grupo 3 como sustancia no cancerígena.



La exposición al mercurio orgánico se produce por ingesta de alimentos bajo forma, principalmente, del metilmercurio. Este afecta al sistema nervioso y está clasificado por la IARC dentro del grupo 2B como “posiblemente cancerígeno”.

En los sedimentos de colmatación acumulados en el embalse, la presencia de Mercurio es generalizada, mientras que en las aguas superficiales se ha limitado a una muestra. No obstante, dado las bajas concentraciones registradas y el uso real del embalse el riesgo generado sobre la salud humana en la situación actual se estima medio a bajo.

Arsénico (As)

El arsénico es un metaloide que se presenta en la naturaleza principalmente como sulfuro de metales como el plomo o el cobre. También se puede presentar bajo otras formas inorgánicas, orgánicas o de forma nativa, en polvos blancos, sin olor, y difícilmente evaporables. Como elemento es insoluble en el agua, pero muchos de sus compuestos lo son.

En la actualidad, se usa principalmente como preservante de madera (70 %), y en menor medida como componente en algunos medicamentos, para la fabricación de semiconductores y como aditivo en aleaciones de lomo y latones. A principios del siglo pasado se usaba como herbicida e insecticida.

Su entrada a la atmósfera se puede producir bien de forma artificial por la fundición de minerales en la industria metalúrgica y por la incineración de carbón o, de forma natural por actividades volcánicas. Mientras que su incorporación a las aguas, tanto subterráneas como superficiales, se produce esencialmente por lixiviación de suelos y/o por vertidos de aguas residuales.

La principal exposición al arsénico se produce por ingesta de alimento, siendo los peces y los crustáceos los que más contenido presentan generalmente bajo forma de un compuesto orgánico (arsenobetaina), por inhalación de partículas con arsénico adherido, o por la ingesta de agua potable.

Es extremadamente tóxico y venenoso. La ingestión de altas concentraciones de arsénico inorgánico en las aguas puede ser letal para los seres humanos, y a concentraciones más bajas provoca irritaciones en el estómago y los intestinos, náuseas, vómitos, anemia y alteraciones nerviosas. Su inhalación en grandes dosis provoca irritaciones en la garganta y

en los pulmones y efectos adversos en la piel. Está clasificado por la IARC como probablemente cancerígeno.

Del arsénico orgánico no se dispone de mucha información sobre sus efectos en los seres humanos. Ensayos realizados en animales han determinado que es menos tóxico que los compuestos inorgánicos.

El arsénico no se ha detectado en las aguas del embalse, mientras que en los sedimentos su presencia es generalizada con concentraciones relativamente bajas, a excepción de tres puntos próximos entre sí y situados en la margen derecha del embalse. Teniendo en cuenta sus características toxicológicas y el uso real del embalse se puede estimar que el riesgo sobre la salud humana en la situación actual es bajo.

3.6.4 Características del medio físico

A continuación se describen las características del medio físico. Alguno de los aspectos que lo comprenden (geología, hidrogeología, geomorfología, climatología,...) han sido detallados en el documento nº 2 (caracterización), por lo que en este capítulo se hará exclusivamente un resumen de los aspectos más significativos.

Geología e hidrogeología

Geológicamente los materiales de la zona se estructuran en dos subdivisiones; un basamento de edad terciaria y una cobertera del cuaternario que ocupa las partes bajas de las laderas y los fondos de los valles.

Los materiales del basamento terciario consisten en areniscas y margas, ocupando la parte norte y sur del vaso, respectivamente. La cobertera cuaternaria está constituida por diferentes tipos de depósitos: Coluviales, Fondos de Valle, Terrazas del Gállego y Aluviales, diferenciando un depósito actual formado por los sedimentos de colmatación acumulados en el vaso del embalse, constituidos básicamente por limos y limos arenosos (Véase documento 1, de caracterización).

Desde el punto de vista hidrogeológico, solamente se toman en consideración como horizontes acuíferos los materiales cuaternarios de tamaño grueso dada su alta permeabilidad, trasmisividad, y a que poseen altos coeficientes de almacenamiento. Los materiales del sustrato terciario constituyen la base impermeable de este acuífero superficial

debido a su baja permeabilidad y trasmisividad. El flujo subterráneo de este acuífero es hacia el cauce del río.

Climatología

El clima de la zona se define como sub-mediterráneo de montaña con una marcada estacionalidad. La temperatura media anual es de 10,9° C, con una media de máximas de 29,0°C en julio, y una media de mínima de 3,39°C en enero. Las precipitaciones se distribuyen en dos estaciones húmedas y dos secas, con promedios anuales que oscilan entre 600 mm y 900 mm, y una media de 85 días de lluvia al año.

Usos del suelo y de las aguas

Los usos del embalse, del suelo y de las aguas en su entorno, son factores determinantes al establecer los criterios de la evaluación de riesgos.

Usos del embalse

De acuerdo a la información facilitada por la CHE, en la actualidad las aguas del embalse no tienen ningún uso, ni para actividades recreativas, ni para el suministro de agua potable, o riego. Y no se contempla un cambio de uso a corto-medio plazo.

No obstante, de cara a evaluar una situación crítica, se ha considerado que el embalse pueda ser utilizado con fines recreativos de forma ocasional (baño, pesca). Esta circunstancia es poco probable pero posible, en tanto en cuanto no hay ninguna prohibición al respecto.

Además, la presa se ha construido para la producción de energía eléctrica mediante turbinas hidráulicas dispuestas en la cerrada, por lo cual no se produce un contacto directo con las aguas del embalse.

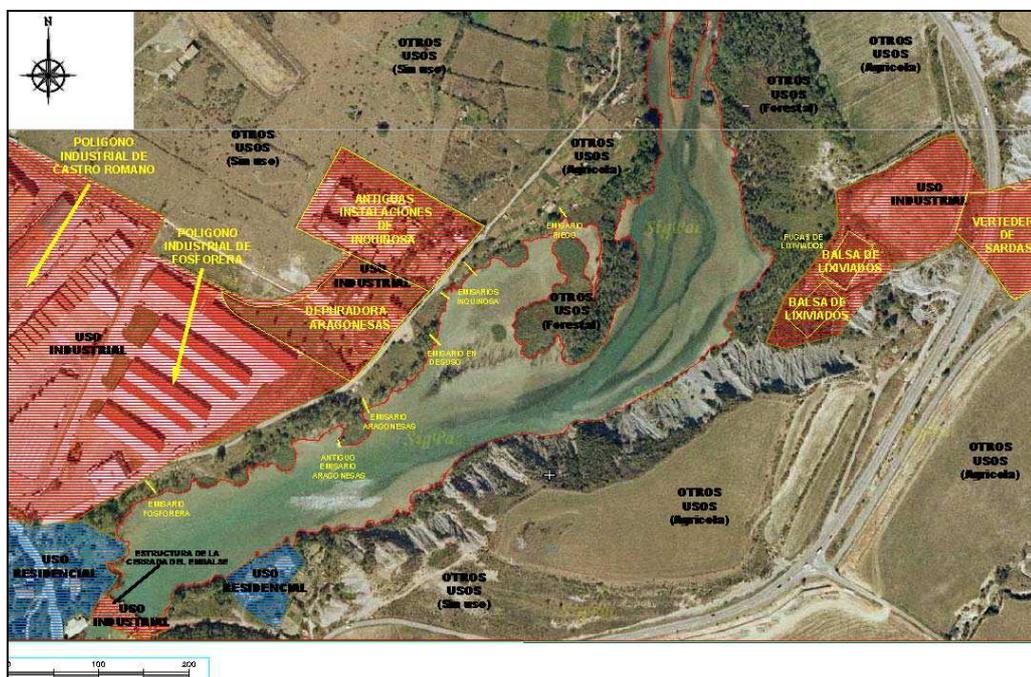
Usos del suelo y de las aguas subterráneas en el entorno más próximo al embalse

- Hacia el norte, este y sureste del embalse, los suelos no tienen un uso específico, excepto pequeñas parcelas de cultivo hortícola que se localizan a unos 70 m del ámbito en estudio. El agua empleada para el riego de estos huertos procede del río Gállego, estando su punto de situado aguas arriba del embalse y, por lo tanto, sin ninguna relación con las aguas del mismo.

- Al noreste, a 60 metros aproximadamente del embalse y aguas arriba del mismo, se ubican las dos balsas de lixiviados del antiguo vertedero de Sardas, el paso de la carretera N-330, y el propio vertedero de Sardas, a 250 metros.
- Hacia el oeste lindando con el embalse, se localizan las instalaciones industriales de Inquinosa, Aragonesas y el polígono industrial de Fosforera. Y a 150 m en la misma dirección se localiza el polígono industrial de Castro Romano, y el núcleo urbano de Sabiñánigo.
- Hacia el sur y colindando con la propia cerrada, se halla la derivación hidroeléctrica.
- Las aguas subterráneas en el entorno del embalse no se aprovechan ni para el riego ni para el abastecimiento doméstico. No se han localizado pozos ni puntos de captación en el entorno más inmediato.

En la siguiente figura se recoge un plano del ámbito de estudio y su entorno donde se visualiza gráficamente los usos del suelo en la zona.

Figura 1. Plano de usos del suelo en el entorno del embalse de Sabiñánigo



Usos de las aguas del Río Gállego aguas abajo del embalse

Según la información recabada, aguas abajo del embalse, en el cauce del río Gállego, además de la pesca deportiva se desarrollan de forma ocasional otras actividades recreativas.

Además se han localizado varias infraestructuras de regulación del caudal del río. La CHE dispone de varios puntos control a lo largo del río Gállego aguas abajo del embalse, donde se llevan a cabo de forma no sistemática analíticas de la calidad del agua y de otros compuestos relevantes. Los puntos de control más próximos son 1089 Sabiñánigo a 220 m, Gállego 2149 a 1640 m, Jabarella 1484 a 5 Km., Hostal Ipiés 1090 a 9,5 Km.

3.6.5 Identificación de receptores

De acuerdo a los usos actuales de las aguas del embalse y de los suelos de las parcelas colindantes, y atendiendo a la descripción del entorno y del propio emplazamiento, se han identificado como potenciales receptores:

- Los usuarios de las aguas superficiales del embalse (hipótesis de uso del mismo con fines recreativos), así como del cauce del río Gállego aguas abajo.
- Los organismos acuáticos del propio embalse, así como del río aguas abajo (el estudio de una posible afección sobre estos receptores queda recogido en el capítulo 4 “Análisis preliminar de riesgos sobre los ecosistemas”, del presente documento).

3.6.6 Identificación de las rutas de exposición

En las condiciones actuales y futuras previsibles del uso del suelo y de las aguas, y la situación de los potenciales receptores, se detallan a continuación los aspectos más relevantes en cuanto a las rutas de exposición a contemplar en el modelo.

En la situación actual las aguas del embalse no se aprovechan ni para el abastecimiento de agua potable ni para el riego de los cultivos. Únicamente se emplean para la generación de energía eléctrica, sin descartar actividades recreativas ocasionales como la pesca deportiva o el baño. Por lo tanto las posibles rutas de exposición son:

- Ingestión accidental y/o contacto dérmico con las aguas superficiales y de los usuarios del embalse por la hipotética actividad de baño y pesca deportiva, y, en

menor medida, por parte de de los trabajadores de la central hidroeléctrica. Igualmente se contemplan estas vías de exposición para los usuarios del cauce del Gállego aguas abajo del embalse.

- ↪ El contacto dérmico y la ingestión de agua y sedimento por parte de los organismos acuáticos tanto del propio embalse como del río aguas abajo. El estudio de esta ruta de exposición se recoge en el capítulo 4.
- ↪ Adicionalmente, y si bien se trata de una situación hipotética y poco probable, con objeto de analizar una situación muy crítica, se evaluará el riesgo por el contacto directo con los sedimentos por parte de los potenciales usuarios de las aguas del embalse que pueden entrar en contacto con los mismos.
- ↪ No se contempla la inhalación de vapores en espacios cerrados al no existir ninguna edificación sobre el foco de riesgo, ni la inhalación en espacios abiertos al encontrarse los sedimentos (principal foco de riesgo) sumergidos, lo que limita la generación de volátiles y su migración hacia el exterior.
- ↪ Tampoco se considera la ingestión o el contacto con el agua subterránea al no existir captación alguna en el entorno del embalse.

3.7 Escenarios considerados

Se han establecido dos escenarios de riesgos en los que se estudia la situación actual del embalse y del entorno conforme a los usos del suelo y de las aguas establecidos en el capítulo 3.6.3 de este documento, y una situación hipotética en la que se contempla la posibilidad de que potenciales receptores pudiesen entrar en contacto directo con los sedimentos de colmatación que se encuentran cubiertos por una lámina de agua. Ambas situaciones se han estudiado de forma independiente por exigencias del programa informático utilizado.

A continuación se describen las principales características de cada uno de ellos.

3.7.1 Escenario 1. Situación actual

En esta situación se evalúa el riesgo teniendo en cuenta el estado actual del emplazamiento y los usos reales del mismo, sobre la base de la información facilitada por la CHE y la información recabada por GEOCISA durante los trabajos de campo.

Los aspectos más relevantes que configuran este escenario son:

- *Ámbitos de exposición:* el ámbito *On site* (receptores sobre el foco de riesgo) se define en el propio embalse.

Adicionalmente, y sobre la base de los resultados que se obtengan en el ámbito referido, y en la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos en el embalse (véase el *Escenario 2* que se describe más adelante), se evaluará la situación sobre otros posibles usuarios del río situados aguas abajo del embalse.

- *Receptores:* usuarios del embalse con fines recreativos (pesca y/o baño), y usuarios de las aguas del río Gállego con los mismos fines recreativos.
- *Vías de exposición:*

- o Sobre los posibles usuarios de las aguas del embalse (*On site*): contacto dérmico y/o ingestión accidental de las aguas superficiales derivados de una posible actividad recreativa (pesca deportiva o baño), y la ingestión del propio pescado.

Si bien se considera improbable que los receptores referidos puedan entrar en contacto directo con los sedimentos (se recuerda que éstos se encuentran sumergidos, y que en la zona en la que se encuentran de forma más superficial - entorno del llamado *Brazo de Inquinosa*- la lámina de agua que los cubre puede alcanzar entre 50 cm y 1,50 cm, aproximadamente), esta situación se ha contemplado igualmente en la valoración de riesgos aunque en un escenario independiente por exigencias del programa informático utilizado (véase *Escenario 2*).

En el momento de la elaboración de este documento no se tiene constancia de que las aguas del embalse sean utilizadas para riego, por lo que esta actividad no se contempla en el estudio.

- o *Sobre otros usuarios del río Gállego ubicados aguas abajo:* se parte de la hipótesis de que las aguas del río Gállego puedan ser empleadas igualmente con fines recreativos de forma ocasional, teniendo lugar las mismas vías de exposición que en el punto anterior (contacto dérmico y/o ingestión accidental de las aguas superficiales e ingestión de pescado). Además, en este caso se considera la posibilidad de que en

algún momento los receptores puedan entrar en contacto con sedimentos que se hayan movilizado desde el embalse.

Esta última posibilidad será valorada de forma cualitativa teniendo en cuenta los resultados que se obtengan en el Escenario 2, pues no se tiene constancia de que los sedimentos hayan migrado fuera del embalse, ni de la calidad de los mismos en el caso de que ésta movilización haya tenido lugar.

- En ningún caso se ha considerado el empleo de las aguas superficiales o subterráneas para abastecimiento, en tanto en cuanto las aguas subterráneas no presentan uso alguno, y hasta 17 km aguas abajo del embalse no se han localizado puntos de captación de aguas superficiales.

En este último caso se parte de la base de que las aguas cumplen con los criterios de calidad legalmente establecidos. Los controles analíticos efectuados por la CHE en la estación de alerta localizada en el río Gallego a la altura de Jabarrella (a unos 5 km del embalse e igualmente aguas abajo del mismo) así lo corroboran (véase resultados de los análisis en el Anejo 7 del Documento nº 2).

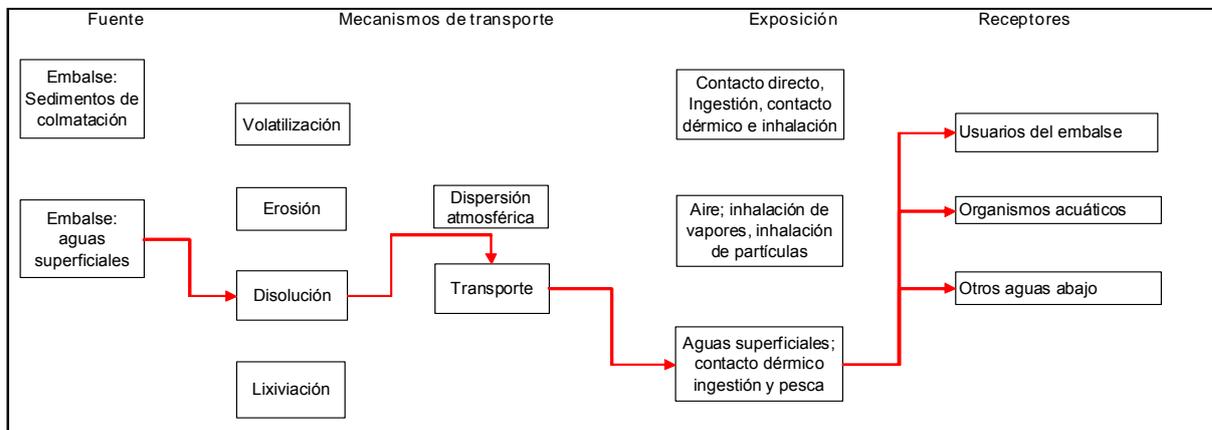
- *Parámetros de exposición:* se incluyen los adoptados por defecto en el programa para una actividad recreativa (pesca deportiva y baño).
- *Concentraciones de compuestos:* se parte de la hipótesis de que el agua del embalse pueda contener las sustancias y concentraciones obtenidas del agua intersticial de las muestras de sedimentos recogidas en dos de los sondeos perforados en la margen derecha del embalse.

Los compuestos detectados en estas muestras fueron Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y α -HCH.

En el estudio de la afección sobre potenciales receptores situados aguas abajo del embalse, evaluar la situación con estos datos supone analizar una situación conservadora, en tanto en cuanto los parámetros y concentraciones detectadas sobre el foco de riesgo (embalse) son más desfavorables que los detectados en la estación de Jabarrella (presumiblemente más próxima a posibles usuarios del río).

En la figura 2 se recoge un esquema resumen de la configuración de la situación actual.

Figura 2. Esquema resumen del escenario estudiado en la situación actual (contacto aguas embalse-embalse como receptor)



3.7.2 Escenario 2. Situación hipotética de contacto directo con los sedimentos

En este escenario se evalúa que incidencia tendría sobre la salud humana si unos potenciales receptores pudiesen entrar en contacto directo con los sedimentos.

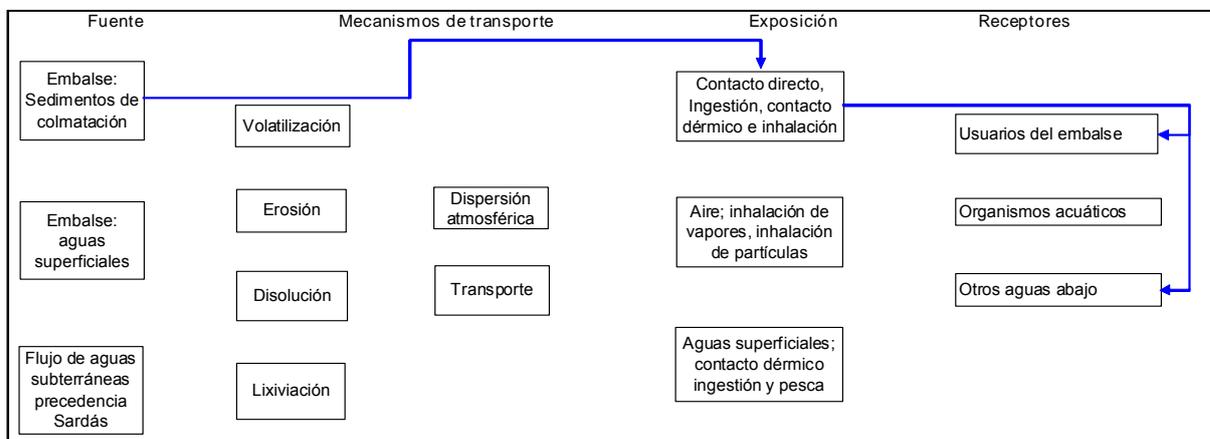
El *ámbito de exposición On site* estaría definido en las zonas de acumulación de sedimentos con sustancias orgánicas o metales, los *potenciales receptores* podrían ser, por ejemplo, unos hipotéticos y ocasionales usuarios de las aguas del embalse en dichas áreas de sedimentación, y las *vías de exposición* asociadas serían el contacto dérmico y/o la ingestión accidental de sedimento e inhalación de partículas.

En cuanto a los *parámetros de exposición* se han adoptado aquellos que vienen por defecto en el programa, excepto la tasa de ingestión, donde se ha considerado el 50% de la que el programa adopta por defecto dado que se trataría de una exposición ocasional. Esta situación se sigue considerando muy conservadora en tanto en cuanto se mantiene una frecuencia de exposición de 250 días/año.

Para evaluar los posibles riesgos en este escenario, se han considerado como concentraciones de partida la máxima registrada de cada sustancia que ha superado los valores de referencia en todas las muestras analizadas de los sedimentos de colmatación.

En la figura 3 se muestra gráficamente la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos.

Figura 3. Esquema resumen de la situación hipotética de contacto directo con los sedimentos de colmatación



3.8 Caracterización del riesgo y resultados

En este capítulo se resumen los resultados de la evaluación de riesgos realizada sobre la salud humana.

3.8.1 Escenario 1. Situación actual (contacto con las aguas superficiales del embalse)

La evaluación de riesgos efectuada, cuyos resultados se muestran en el Anejo 3 de este documento (véase salidas del programa informático), reflejan que en el caso de que las sustancias detectadas en el agua intersticial de los sedimentos muestreados en los sondeos SE-8 y SE-9 afectasen al agua del embalse, éstas no arrojarían ningún efecto adverso sobre la salud humana por ninguna de las vías de exposición analizadas (contacto dérmico o ingestión accidental de aguas superficiales, o ingestión de pescado).

Los niveles de riesgos calculados, tanto para los efectos tóxicos como para los efectos cancerígenos, son inferiores a los máximos admisibles.

En cuanto a otros posibles receptores situados aguas abajo del embalse, y partiendo de la base de que éstos podrían estar sometidos a los compuestos detectados en el ámbito en estudio, como mínimo, a través de las mismas vías de exposición que se han considerado en el propio embalse, tampoco habría efectos negativos. Si sobre el mismo foco de riesgo no se han registrado consecuencias adversas para la salud humana, en otras zonas alejadas del embalse, donde presumiblemente las concentraciones de las sustancias serían

inferiores, la potencial afección sería aún menor.

3.8.2 Escenario 2. Situación hipotética de contacto dérmico e ingestión de los sedimentos de colmatación

En este capítulo se evalúa el posible riesgo, en una situación hipotética, de contacto directo con los sedimento de colmatación por parte de potenciales receptores, como unos posibles usuarios del propio embalse con fines recreativos.

Los resultados indican que existen tres sustancias críticas que podrían contribuir al riesgo de forma más significativa: Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico.

Con los datos de partida contemplados en el modelo, la concentración máxima admisible por encima de la cual el índice de riesgo es superior a 10^{-5} es de 0,052 mg/kg, 55 mg/kg y 12 mg/kg para cada uno de estos compuestos, siendo la vía crítica de exposición la ingestión de materiales con estas sustancias.

Las determinaciones analíticas realizadas sobre las muestras de sedimento arrojaron concentraciones de Benzo(a)pireno por debajo de 0,052 mg/kg en todas las muestras analizadas, excepto en las recogidas del sondeo SE-18 situado en el entorno de *Energía e Industrias Aragonesas* donde se han medido niveles ligeramente superiores (máximos del orden de 1 mg/kg).

En el caso del Mercurio, los resultados analíticos obtenidos evidenciaron igualmente concentraciones inferiores a 55 mg/Kg en todos los puntos muestreados del embalse, a excepción de dos muestras recogidas nuevamente en el punto SE-18.

Y en lo relativo al Arsénico, solamente 4 puntos de muestreo de los 20 efectuados (los dos más críticos se localizan en el entorno del *Brazo de Inquinosa* y junto a *Energía e Industrias Aragonesas*, a más de 400 metros de la cerrada), presentan valores de este metal por encima de los 12 mg/kg referidos.

La concentración máxima obtenida para este metal es inferior al nivel de referencia considerado en el presente estudio (NGR de la orden 5/05/08 para metales del Gobierno de Aragón establecidos para suelos de otros usos), y por lo tanto es una concentración excesivamente restrictiva.

Este hecho suele ser habitual cuando se evalúan los riesgos generados por un grupo de sustancias de forma conjunta, y no por cada una de ellas de forma individual, y en el caso particular del embalse de Sabiñánigo el valor objetivo se ha calculado sobre la base de que el sedimento presenta todas las sustancias detectadas en la investigación que han arrojado concentraciones por encima de los valores de referencia.

Sobre la base de los resultados obtenidos, y a modo de resumen, se considera que para que realmente hubiese efectos negativos sobre la salud humana, los potenciales receptores tendrían que ingerir del orden de 25 mg/día durante 250 días/año de los sedimentos de colmatación acumulados en el entorno del *Brazo de Inquinosa* y de *Energía e Industrias Aragonesas*.

Y en este sentido se hacen las siguientes consideraciones:

- Aún suponiendo que un usuario del embalse entrase en contacto con los sedimentos, por ejemplo mediante alguna actividad recreativa en la que se efectuasen inmersiones (el sedimento está sumergido), el contacto sería con los niveles superficiales, y en la zona en la que se han registrado valores por encima de los máximos calculados para estos tres compuestos estos valores se encuentran a más de 2 m de profundidad.

Además, para tener efectos negativos tendría que producirse una ingestión del sedimento, lo que se considera muy poco probable. Se asume con ello, que el riesgo sobre la salud humana sería prácticamente inexistente.

- Para otros receptores situados en el río Gállego, en el caso de que se produjese alguna movilización de sedimentos, se parte de la base de que los materiales removidos serían los más próximos a la cerrada (véase el Documento nº 2, de caracterización, en el que se describe la dinámica del embalse).

Las analíticas efectuadas sobre los sondeos realizados junto a ella indican que los valores de estos compuestos son inferiores a los establecidos como máximos, por lo que se asume que el riesgo también sería prácticamente nulo.

Esta última circunstancia –ausencia de efectos negativos sobre la salud sobre receptores identificados en el río Gállego aguas abajo del embalse- se sustenta,

además, con los seguimientos que la CHE efectúa periódicamente en sus redes de control de sustancias peligrosas.

Así, los resultados disponibles de los ensayos periódicos realizados desde el año 1.999 hasta 2.008 sobre muestras de sedimentos recogidas en el Punto Nº SPS-1 - GALLEGO EN JABARRELLA, a unos 5 km del embalse de Sabiñánigo (véase Anejo 7 del documento de caracterización), indican la ausencia de los compuestos orgánicos detectados de forma generalizada en los sedimentos del embalse (HCH y Clorobencenos), y valores de Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico (compuestos más críticos en la evaluación de riesgos) muy por debajo de aquellos obtenidos en este estudio como valores a partir de los cuales podrían producirse consecuencias adversas sobre la salud.

3.9 Conclusiones

Del análisis cuantitativo de riesgos realizado sobre la salud humana se desprenden las siguientes conclusiones:

- ✚ En la situación actual, las sustancias registradas en los sedimentos de colmatación del embalse de Sabiñánigo con valores por encima de los de referencia, no arrojan efectos adversos sobre la salud humana, siendo compatible por lo tanto su presencia con los usos de los suelos y de las aguas que en este momento se desarrollan en el entorno.
- ✚ Esta conclusión se aplica a posibles usuarios del embalse con fines recreativos, y a otros usuarios ocasionales de las aguas del río Gállego, igualmente con fines recreativos, aguas abajo del mismo.
- ✚ En la valoración se han incluido como sustancias y concentraciones representativas del agua del embalse, las registradas en el agua intersticial de sendas muestras de sedimento. Evaluar la situación sobre potenciales receptores situados aguas abajo del embalse con estos datos supone analizar una situación conservadora, en tanto en cuanto los parámetros y concentraciones detectadas sobre el foco de riesgo (embalse) son más desfavorables que los detectados en otros puntos presumiblemente más próximos a posibles usuarios del río (estación de Jabarrella).

- ✚ Las sustancias más críticas identificadas son Benzo(a)pireno, Mercurio y Arsénico en los sedimentos de colmatación, pero el potencial riesgo se ha valorado como prácticamente inexistente. Para que hubiese algún efecto negativo sobre la salud tendría que producirse una ingestión del orden de 25 mg/día durante 250 días/año de los sedimentos acumulados en el entorno del *Brazo de Inquinosa* o *Energía e Industrias Aragonesas*.
- ✚ Las últimas analíticas efectuadas sobre el sedimento recogido en el punto de control de sustancias peligrosas de la CHE ubicado en Jabarella “SPS-1”, a unos 5 km del embalse, no presentan ninguno de los compuestos que se han registrado de forma generalizada en los sedimentos del embalse, y los niveles de las sustancias más críticas registradas en la evaluación de riesgos están muy por debajo del valor máximo admisible definido. Esta circunstancia apoya la consideración de que las sustancias registradas en los sedimentos del embalse no afectan negativamente a la salud de posibles usuarios del Gállego.

4 ANÁLISIS PRELIMINAR DE RIESGOS SOBRE LOS ECOSISTEMAS

La realización de la evaluación de riesgos sobre los ecosistemas tendrá carácter preliminar, y en ausencia de una normativa estatal específica los efectos adversos sobre la biota se determinarán a partir de los datos de ecotoxicidad disponibles para cada pareja medio-receptor, el umbral de concentración por debajo del cual no se manifiestan efectos adversos (denominada “PNEC” por sus siglas en inglés).

4.1 Escenarios analizados

Se ha considerado un único escenario que contempla la situación actual del embalse y de su entorno, y en el que se evalúa el riesgo por ingestión de agua y sedimento, y el contacto dérmico con las aguas y sedimentos por parte de los organismos acuáticos en el propio embalse.

En el caso del agua, se ha contemplado una situación similar a la del estudio sobre la salud humana. Se ha supuesto que ésta podría estar afectada por las sustancias registradas en el agua intersticial analizada los sondeos SE-8 y SE-9 perforados en la margen derecha del embalse - Benceno, Tolueno, Fenol, Clorobenceno, Naftaleno, y α -HCH-.

4.2 Análisis de exposición

La estimación de la exposición en este caso se suele hacer determinando el parámetro denominado PEC (Predictive Exposure Concentration), que se debe calcular para cada una de las parejas receptor-vía de exposición.

Los valores PEC están en función de diversos parámetros como:

- ✚ La distribución espacial a lo largo del tiempo de cada uno de los compuestos.
- ✚ La superficie del área afectada.
- ✚ La biodisponibilidad de cada uno de las sustancias contempladas.
- ✚ Peso vivo, composición de la dieta y tasa de ingestión de los receptores considerados.

Debido al déficit de datos de éstos parámetros se han adoptado, por defecto, unas hipótesis conservadoras que han permitido realizar un análisis preliminar:

- ✚ El 100 % del área de estudio está afectada.
- ✚ La biodisponibilidad de cada uno de las sustancias es del 100%.
- ✚ Se adoptarán datos de menor peso vivo disponibles que corresponde a la mayor tasa de ingestión.

Como concentraciones de compuestos sin efecto adverso (PNEC), para los organismos acuáticos y las sustancias detectadas en las aguas del embalse, y dada la ausencia de datos toxicológicos específicos, se adoptarán, siguiendo los apuntes de la *Guía de Análisis de riesgos para la salud humana y los ecosistemas de Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid*, los criterios de calidad del agua recomendados por la EPA en 2.009 para compuestos prioritarios para la protección de la biota acuática (*National Recommended Water Quality Criteria EPA 2009*). No se estudiará el efecto de los compuestos en los sedimentos sobre los organismos acuáticos dado que se considera despreciable frente a sus efectos en las aguas.

4.3 Resultados

La evaluación de los riesgos realizada sobre los organismos acuáticos bajo la premisa de que las aguas del embalse pudiesen contener alguna de las sustancias que se han detectado en el agua intersticial de dos muestras de sedimentos, ha arrojado como resultado que las concentraciones consideradas no superan los criterios de calidad de aguas superficiales continentales recomendados en la “*National recommended water quality criteria USEPA 2002*” establecidos para la protección de la biota acuática.

Para los isómeros del HCH alfa y beta no ha sido posible realizar la evaluación debido a la inexistencia de valores y/o criterios de calidad establecidos para dichos compuestos.

En cuanto al efecto de la ingestión de sedimentos con sustancias sobre los organismos acuáticos se considera despreciable frente a la ingestión y contacto dérmico de aguas con concentraciones elevadas. No obstante, se ha confirmado que los sedimentos no son ecotóxicos al haberse obtenido resultados del CE_{50} inferiores a los valores de referencia (en el Documento nº 2 se recoge una valoración más extensa de los resultados obtenidos de este parámetro).

4.4 Conclusiones

Del análisis preliminar de riesgos realizado sobre los ecosistemas se concluye lo siguiente:

- ✚ Las sustancias registradas en los sedimento de colmatación del embalse en la situación actual no generan efectos adversos sobre los organismos acuáticos.
- ✚ Del mismo modo que en el estudio sobre la salud humana, se ha considerado que la calidad del agua del embalse está representada por las sustancias y concentraciones registradas en el agua intersticial de muestras de sedimento. Y del mismo modo que en el caso anterior, evaluar la situación sobre organismos acuáticos situados aguas abajo del embalse con estos datos supone analizar una situación conservadora por la misma razón expuesta con anterioridad.
- ✚ Los bioensayos realizados sobre las muestras de sedimento recogidas en el propio embalse han arrojado concentraciones para el CE_{50} que permiten clasificarlo como un material no ecotóxico según el criterio de referencia aplicado.

5 INCIDENCIA DE LOS FOCOS POTENCIALES DE AFECCIÓN IDENTIFICADOS EN LA CALIDAD DE LAS AGUAS DEL EMBALSE

Aguas arriba del embalse, en su margen izquierda, se han detectado compuestos orgánicos e inorgánicos en las aguas subterráneas (Benceno, Clorobenceno, Fenoles, Clorofenoles, varios isómeros del Hexaclorociclohexano, Cadmio, Plomo....) cuyo origen se atribuye a las filtraciones desde el vertedero clausurado de Sardas.

Teniendo en cuenta las concentraciones elevadas registradas de estas sustancias y la conexión hidrogeológica directa entre el vertedero y el embalse a través de los depósitos cuaternarios de gravas, habrá que tener en cuenta el posible efecto negativo que, sobre la calidad de las aguas del embalse en su margen izquierda, pueda tener la movilización de estas sustancias con el flujo subterráneo (y es importante incidir de nuevo en que este hecho ha sido constatado con los resultados obtenidos en la investigación efectuada).

Como medida preventiva sería necesario que las autoridades competentes aplicaran las medidas oportunas para interceptar los flujos subterráneos provenientes del vertedero de Sardas. Hasta entonces, la situación medioambiental del embalse podría verse afectada negativamente.

En la margen derecha del embalse se valoran tres posibles focos de afección:

1. Los compuestos detectados en las aguas subterráneas muestreadas de los piezómetros perimetrales del embalse. Su incidencia en la calidad de las aguas del embalse se considera baja al encontrarse la práctica totalidad de los parámetros analizados por debajo del límite de detección de la técnica analítica.
2. Los vertidos directos al embalse. Su incidencia en la calidad de las aguas del embalse se considera también baja gracias a los controles que periódicamente efectúa la CHE sobre la calidad de los mismos con resultados favorables.
3. Los propios sedimentos acumulados en el entorno de *Energía e Industrias Aragonesas*. La incidencia de estos depósitos en la calidad de las aguas del embalse se considera baja-media, pues se han detectado sustancias

orgánicas en el agua intersticial de los testigos recuperados de dos de los sondeos perforados en esta zona, que podrían llegar a afectar a la calidad de las aguas del embalse.

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, que será traspuesta en breve al ordenamiento jurídico español, supone una reducción importante de las concentraciones de referencia para determinadas sustancias que se fijan como norma de calidad ambiental en las aguas. La entrada en vigor de esta norma va a suponer, de hecho, que se registren incumplimientos en los valores de referencia en masas de agua en las que se han venido registrando concentraciones de sustancias ligeramente inferiores a las normas de calidad vigentes. En el caso del embalse de Sabiñánigo, toda la problemática expuesta anteriormente en relación con los focos potenciales de afección identificados y su influencia en las aguas del embalse, puede dar lugar a que se pase de la situación actual de normalidad a una situación de riesgo derivado del incumplimiento de las nuevas normas de calidad ambiental.