

INFORME TÉCNICO
para
Confederación Hidrográfica del Ebro

**ESTUDIO DE TRAZADORES QUÍMICOS E ISOTÓPICOS
DEL VERTIDO DE SALMUERAS EN SONDEOS
PROFUNDOS ASOCIADO A LA MINERÍA DE SALES
SÓDICO-POTÁSICAS EN LA COMARCA DE
PAMPLONA (NAVARRA)**

INFORME FINAL
TOMO ÚNICO

Clave CEDEX: 52-416-0-011

Madrid, noviembre de 2017

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas

TÍTULO:

**ESTUDIO DE TRAZADORES QUÍMICOS E ISOTÓPICOS DEL
VERTIDO DE SALMUERAS EN SONDEOS PROFUNDOS
ASOCIADO A LA MINERÍA DE SALES SÓDICO-POTÁSICAS
EN LA COMARCA DE PAMPLONA (NAVARRA)**

INFORME FINAL
TOMO ÚNICO

CLIENTE:

Confederación Hidrográfica del Ebro

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

VALIDEZ OFICIAL

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

EL DIRECTOR DEL CENTRO DE ESTUDIOS DE TÉCNICAS APLICADAS



Fdo. Alberto Compte Anguela

AUTORIZA LA EMISIÓN DEL INFORME:

Madrid, noviembre de 2017

EL DIRECTOR DEL CEDEX



Fdo. José Trigueros Rodrigo

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

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

2.1. Recopilación y análisis de información previa

2.1.1. Marco geográfico

2.1.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio

2.1.3. El sistema de evacuación de salmuera

2.1.3.1. Formación geológica receptora y sondeos de evacuación

2.1.3.2. Origen de las salmueras y volúmenes de evacuación

2.1.3.3. Características físico-químicas e isotópicas de la salmuera industrial

2.1.4. Datos previos de meteorología, niveles y aforos

2.1.4.1. Datos meteorológicos

2.1.4.2. Datos foronómicos

2.1.4.3. Datos piezométricos

2.1.5. Evolución de la calidad del agua de los ríos Arga, Arakil y Elorz

2.1.6. Evolución de la calidad de las aguas subterráneas

2.1.6.1. Aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno: Nacedero de Arteta, Pozo UNCONA, Sondeo S-3 y Sondeo Ibero P2

2.1.6.2. Manantiales del Arga

2.2. Campañas de muestreo y métodos de análisis químicos e isotópicos

2.2.1. Medidas de conductividad de campo en ríos y manantiales

2.2.2. Constituyentes mayoritarios y minoritarios de salmueras, aguas superficiales y subterráneas

2.2.3. Isótopos estables del agua

2.2.4. Isótopos indicadores de tiempo de residencia del agua en los acuíferos: Tritio, ^{14}C y ^{13}C

2.2.5. Otras determinaciones

2.2.5.1. Medida de la densidad del agua y del residuo seco

2.2.5.2. Espectrometría gamma y medida de la concentración de potasio por absorción atómica

2.2.5.3. Registro continuo de parámetros en sondeo Ibero P2 y en estación SAICA del Elorz en Pamplona

2.3. Balance de masas de solutos en aguas superficiales

2.4. Modelación hidrogeoquímica

3. RESULTADOS

3.1. Balance de masas en el río Arga

3.2. Revisión del modelo conceptual de funcionamiento hidrogeológico



- 3.3. Revisión del modelo conceptual hidrogeoquímico
- 3.4. Modelación hidrogeoquímica de los manantiales del Arga
 - 3.4.1. Consideraciones hidrogeológicas y termodinámicas
 - 3.4.2. Modelación de la composición química de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno antes de su afección
 - 3.4.3. Modelación del proceso de salinización de los manantiales del Arga

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

5. RECOMENDACIONES

6. BIBLIOGRAFÍA

7. PERSONAL QUE HA INTERVENIDO EN EL TRABAJO

ANEXOS

Anexo 1. Medidas de campo de parámetros físico-químicos inestables.

Anexo 2. Informes de ensayo de constituyentes mayoritarios por cromatografía iónica

Anexo 3. Informes de ensayo de metales y compuestos orgánicos por HS-GC/MS (Headspace Gas Chromatography/Mass Spectrometry)

Anexo 4. Informes de ensayo de tritio por concentración electrolítica

CONTENIDO DE CD

Datos de campo

- Medidas "in situ"
- Perfiles verticales TC en sondeo Ibero P2

Resultados analíticos

- Compuestos mayoritarios por cromatografía iónica
- Minoritarios y orgánicos (Feb. 2017)
- Resultados isotópicos
- Densidad y residuo seco

Registro continuo

- Presión atmosférica en la estación SAICA en el río Elorz
- Presión del agua, temperatura y conductividad eléctrica en el sondeo Ibero P2
- Presión del agua, temperatura y conductividad eléctrica en el río Elorz (Estación SAICA)

Coberturas GIS generadas

Modelización geoquímica con PHREEQC: Archivos de ejecución

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La minería y fabricación de sales potásicas y sódicas, éstas últimas en menor proporción, ha estado operativa en la comarca de Pamplona, desde 1960 hasta 1997, primero por parte de Potasas de Navarra S.A. (en adelante, PDN) como titular de dos concesiones mineras de 1960 a 1985, y después por Potasas de Subiza S.A. (en adelante, POSUSA) de 1986 a 1997, año en que POSUSA presentó un proyecto de abandono de labores y cierre temporal de la mina. Esta actividad, que se inició con un permiso de fabricación de 100000 toneladas de sal potásica en 1962, aproximadamente la mitad de la capacidad final prevista, ha generado unos veinte millones de Tm de residuos sólidos, que se han almacenado en varias escombreras a cielo abierto en el entorno de la zona minera y de la fábrica en una superficie de unas 100 ha, y un volumen de residuos líquidos, que suman un total de unos 67 hm³ en 2017, que en su mayor parte son salmueras que se generan a partir de la lixiviación de las escombreras por las aguas pluviales. Estas salmueras se han ido evacuando en sondeos profundos en una formación geológica supuestamente estanca, en volúmenes de hasta 3 hm³ en años punta.

Después del cierre de la mina, en 1998, se creó Salinas de Navarra S.A. (SALDOSA), empresa que ha aprovechado los residuos sólidos salinos para producir sal común (cloruro sódico) purificada. Esta actividad se propone que tendrá al final el valor añadido medioambiental de reducir la cantidad de escombreras y, como consecuencia, también los residuos líquidos, al reducir la superficie de sales expuesta a la lluvia. No obstante, desde el año 2004 hasta la actualidad, el volumen anual de salmueras evacuadas a los sondeos se mantiene cercano a los 0.5 hm³.

La elevada salinidad, tanto de los residuos sólidos como de los líquidos, tiene un potencial impacto en la calidad de las aguas superficiales y subterráneas de la zona que la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) tiene interés en evaluar. Por un lado, desde los años 70 se ha observado un incremento progresivo de la salinidad de los principales manantiales próximos al cauce del río Arga existentes en la zona, Uberba en Ibero (en adelante manantial de Ibero), Pozo Grande en Etxauri (en adelante manantial de Etxauri) y Baños de Belascoáin (en adelante manantial de Belascoáin), y en los que descargan las masas de agua subterránea (MASb) nº 090.018 Sierra de Andía y 090.029 Sierra de Alaiz. En esta situación, la MASb de la Sierra de Alaiz, en la que se produce desde la década de 1960 la evacuación de las salmueras, se incluyó entre las masas de agua en riesgo de no cumplir en 2015 los objetivos medioambientales que fija la Directiva Marco del Agua (Directiva 2000/60/CE, en adelante DMA). Por otro lado, el río Arga sufre varias veces al año pulsos de elevada salinidad. Consecuentemente, el Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro aprobado por Real Decreto 129/2014, de 28 de febrero, contiene en su Anexo 11 la definición de un Programa de Medidas para la consecución de los objetivos medioambientales de las masas de agua superficial y subterránea, que incluye un "Plan de gestión de los efluentes salinos asociados a la antigua minería de sales potásicas en la Comarca de Pamplona (Navarra)". En este Plan de gestión de efluentes salinos, se propone una serie de actuaciones para reducir los niveles de salinidad del río Arga y de la MASb de la Sierra de Alaiz, cuyos resultados deben evaluarse a la luz del modo de funcionamiento del sistema de gestión de estos efluentes.



En el marco de esta problemática, se han realizado una serie de estudios previos sobre hidrogeoquímica e isótopos que la CHE ha creído conveniente actualizar y completar para lograr un mejor conocimiento del comportamiento hidrogeológico de este sistema de evacuación de salmueras. Los estudios previos constituyeron un avance importante en el estudio de este problema, pero dejaban abiertas serias dudas sobre el modelo de funcionamiento del sistema de evacuación asumido, cuya estanqueidad parece comprometida por la salinización de las aguas de los manantiales de la zona, y no explica la situación observada en estas aguas.

El presente informe responde a la encomienda de la CHE al Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) del 18 de mayo de 2016, de realizar un “Estudio de trazadores químicos e isotópicos del vertido de salmueras en sondeos profundos asociado a la minería de sales sódico-potásicas en la comarca de Pamplona (Navarra)” con el objetivo de avanzar en el conocimiento del sistema hidrogeológico de evacuación de salmueras y de las masas de agua afectadas, y de estudiar alternativas para la minimización y vigilancia de su afección a las aguas subterráneas y superficiales.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para el desarrollo de este estudio, que aborda el comportamiento de un sistema complejo de evacuación de residuos líquidos en sondeos profundos con varias décadas de evolución, se han realizado las siguientes tareas:

- Gestión de información
 - Recopilación de documentación previa.
 - Actualización de la información tratada en otros estudios.
 - Generación de nueva información para completar los datos antecedentes y contrastar con ellos los nuevos resultados.
- Tratamiento de datos
 - Selección de datos clave. Los mayores esfuerzos se han puesto en definir las características químicas e isotópicas de las salmueras industriales y de los manantiales salinizados.
 - Utilización de herramientas de modelación hidrogeoquímica. Se ha prestado especial atención a la revisión del modelo de flujo y a la consideración de los procesos de interacción agua-roca, es decir, de la salmuera con el medio geológico almacén, un aspecto que no había sido abordado en estudios previos.
- Análisis de resultados.
- Elaboración de una serie de recomendaciones y alternativas para la minimización y vigilancia de su afección a las aguas subterráneas y superficiales.

2.1. Recopilación y análisis de información previa

La información recopilada ha sido facilitada, en su mayor parte, por la propia Confederación Hidrográfica del Ebro, el Gobierno de Navarra, a través de la Sección de Minas del Departamento de Desarrollo Económico y de la empresa Gestión Ambiental de Navarra (GANASA) y POSUSA. Esta información ha proporcionado las claves para la interpretación del comportamiento del sistema, completándolo y haciéndolo más coherente en algunos aspectos, y ha permitido orientar el trabajo posterior de muestreo y análisis realizado durante 2016-2017.

En paralelo a esta recopilación sobre la zona de trabajo, se ha realizado una búsqueda de documentación sobre los problemas medioambientales de la minería de potasas, el almacenamiento geológico profundo de salmueras, y ejemplos de métodos geoquímicos e isotópicos aplicados a la minería y a la gestión de sus residuos. Aunque el análisis de la información correspondiente ha sido profuso, esos estudios se citan únicamente donde han servido de referencia sobre algún aspecto concreto del trabajo.

2.1.1. Marco geográfico

La zona de estudio se ubica al S y SO de la ciudad de Pamplona, en un tramo del curso medio del río Arga, y tiene su mayor superficie en su margen izquierda, extendiéndose desde la Sierra de Alaiz al SE, hasta la Sierra de Andía al NO. Su límite S está formado por la Sierra de Alaiz y por el río Robo hasta su desembocadura en el río Arga en Puente la Reina. Su límite E está formado por el río Elorz, desde la Sierra de Alaiz hasta la desembocadura de este río en el río Arga, y su límite N y O por el río Arga. En su zona central, siguiendo un eje E-O se localiza la Sierra del Perdón, en cuyos flancos N y O se ubican los yacimientos de potasas y las instalaciones mineras asociadas, tanto de extracción como de fabricación.

2.1.2. Características geológicas e hidrogeológicas de la zona de estudio

Los antecedentes sobre la zona de estudio que han servido para definir sus características geológicas han sido, principalmente:

- a) la cartografía MAGNA (Mapa Geológico Nacional a escala 1:50.000), Hoja 141 (25-08) Pamplona, publicada por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME, 1978), que incluye el informe "Documentación complementaria: el yacimiento potásico del Perdón";
- b) la cartografía geológica de Navarra escala 1:25.000, hojas 141-I de Cizur y 141-II de Pamplona, del Gobierno de Navarra (1993);
- c) los informes de ENADIMSA sobre los yacimientos potásicos de la zona, realizados en el marco del Plan Nacional de Abastecimiento de Materias Primas Minerales (PNAMPM);
- d) el "Estudio geológico e hidrogeológico del yacimiento potásico de Subiza" (Del Valle, 1992); y
- e) el "Estudio del impacto hidrogeológico de la inyección profunda de salmuera procedente de las operaciones mineras de Potasas de Subiza S. A. (Navarra)", elaborado por el IGME en febrero de



2004 para POSUSA. Este último contiene una recopilación y síntesis de la información previa sobre geología, geofísica, sondeos petrolíferos y sondeos de evacuación de salmuera, que añade el valor de estar aplicadas al mismo problema que se aborda en este trabajo.

La información hidrogeológica de la zona ha sido obtenida principalmente de los informes de la Diputación Foral de Navarra (DFN, 1982), Ministerio de Medio Ambiente (MMA) (1999), IGME (2004), y de los Planes Hidrológicos del Ebro del primer (2009-2015) y segundo ciclos (2015-2021).

Esta información se ha complementado con observaciones de campo en las Sierras de Alaiz y Sarbil, y en el entorno de los manantiales salinizados y el curso del río Arga.

Regionalmente, la zona de estudio se encuentra en el sector occidental de la Cuenca de Jaca-Pamplona, perteneciente a la Unidad Surpirenaica Central (Vera, 2004). Es una zona compleja de transición tectónica y estratigráfica, tanto de N a S, por estar en el límite entre Pirineos y la Cuenca del Ebro, como de E a O, por encontrarse en el límite entre Pirineos y la Cordillera Cantábrica. Esta complejidad, que se pone de manifiesto en su historia y estructura geológicas, ha suscitado numerosos estudios que abordan los diferentes aspectos geológicos de interés en la zona. Sin entrar en detalles y poniendo el foco en aspectos clave de este trabajo, cabe citar en primer lugar, la composición y geometría del yacimiento potásico de Nuestra Señora del Perdón por su interés económico, y en segundo lugar la dificultad que plantea entender el origen y la orientación de los dos accidentes geológicos principales de esta zona: la Sierra de Alaiz y la fosa del Perdón, que no coinciden con las direcciones pirenaicas predominantes.

Pese a esta complejidad geológica, en este apartado no se describen ni la estratigrafía ni la tectónica de forma completa, ya que se ha tratado de describir sólo aquellos aspectos de composición y geometría (estructura y límites) de los materiales geológicos implicados en el sistema de evacuación de salmuera y en la masa de agua subterránea de la Sierra de Alaiz afectada que permitan entender su funcionamiento hidrogeológico y evaluar las consecuencias medioambientales de su operación.

La geometría de las formaciones geológicas que serían el almacén de este sistema de evacuación de salmueras está definida principalmente por la fosa del Perdón, cuya estructura en superficie corresponde, en contraste, con la Sierra del Perdón, y está constituida por un sinforme de dirección ENE-SSO cuyo eje principal se hunde hacia el SO (Figuras 1 y 2).

Los límites de la fosa están constituidos: 1) al S por la falla Beriain-Eneriz en su mitad oriental y la falla lítrica de Puente la Reina en su mitad occidental; 2) al N por la falla de Esparza, antitética de la de Puente la Reina; 3) al E por el anticlinal de Zabalegui, de dirección NO-SE, paralelo al río Elorz; y 4) al O por la falla de Belascoáin, de trazado paralelo al curso del río Arga y a la línea definida por los diapiros de Anoz, Ollos, Salinas de Oro y Alloz. La falla de Beriain es una estructura en tijera con un salto que aumenta hacia su extremo oriental donde llega a ser de unos 800 m. A las fallas de Esparza y de Belascoáin se les atribuyen saltos de unos 300 m. El extremo O de esta fosa es el único que se considera abierto hidrogeológicamente.

La tectónica que ha afectado a estos materiales, sobre todo en la mitad SE de la zona de estudio, en la Sierra de Alaiz y la fosa del Perdón, fue primero compresiva (pliegues y cabalgamientos de orientación pirenaica NO-SE), y posteriormente distensiva (fallas de orientación E-O). En la mitad NO de la zona de estudio, en la Sierra de Andía y diapiro de Salinas de Oro, las últimas estructuras que han afectado a los materiales han sido también distensivas (fallas radiales desde el núcleo del diapiro, entre las que destaca la falla de Etxauri), lo que facilita la apertura al flujo del agua subterránea de las principales fallas que limitan el sistema de almacenamiento.

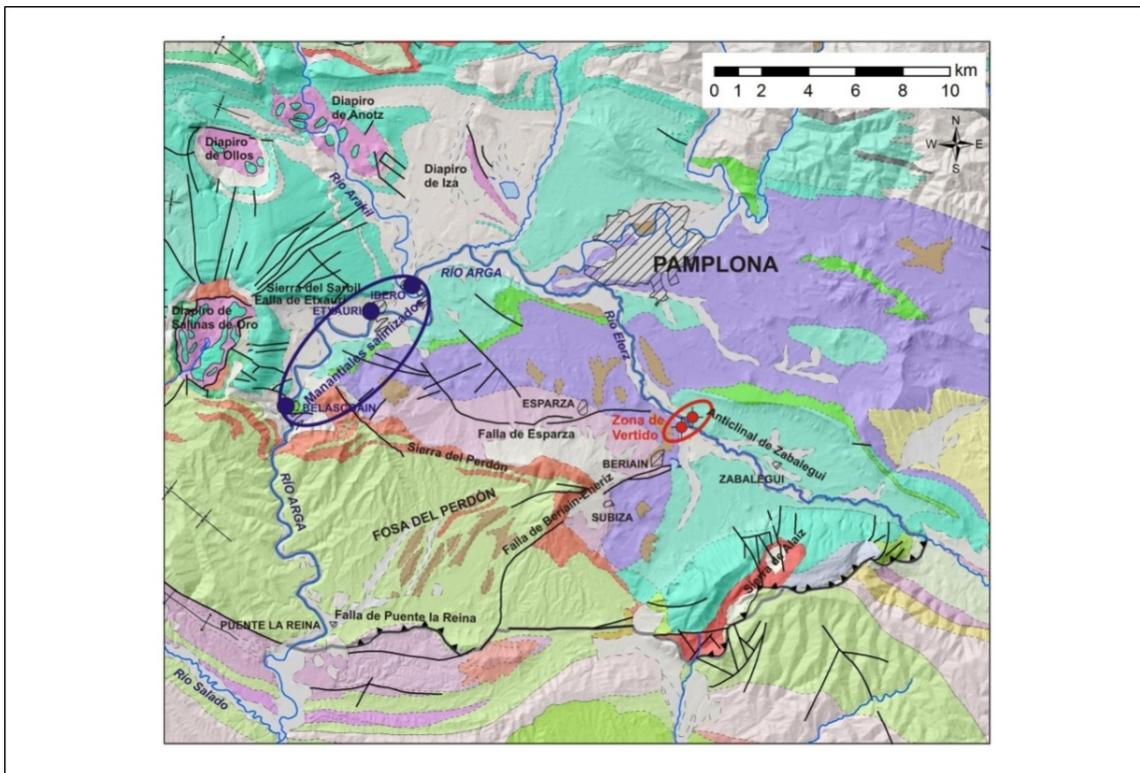


Figura 1. Síntesis geológica y ubicación de la zona de evacuación de salmuera y manantiales salinizados en la masa de agua subterránea de la Sierra de Alaiz (090.029). Modificado del Mapa Litoestratigráfico, de permeabilidades e hidrogeológico de España a escala 1:200.000 del IGME (www.igme.es).

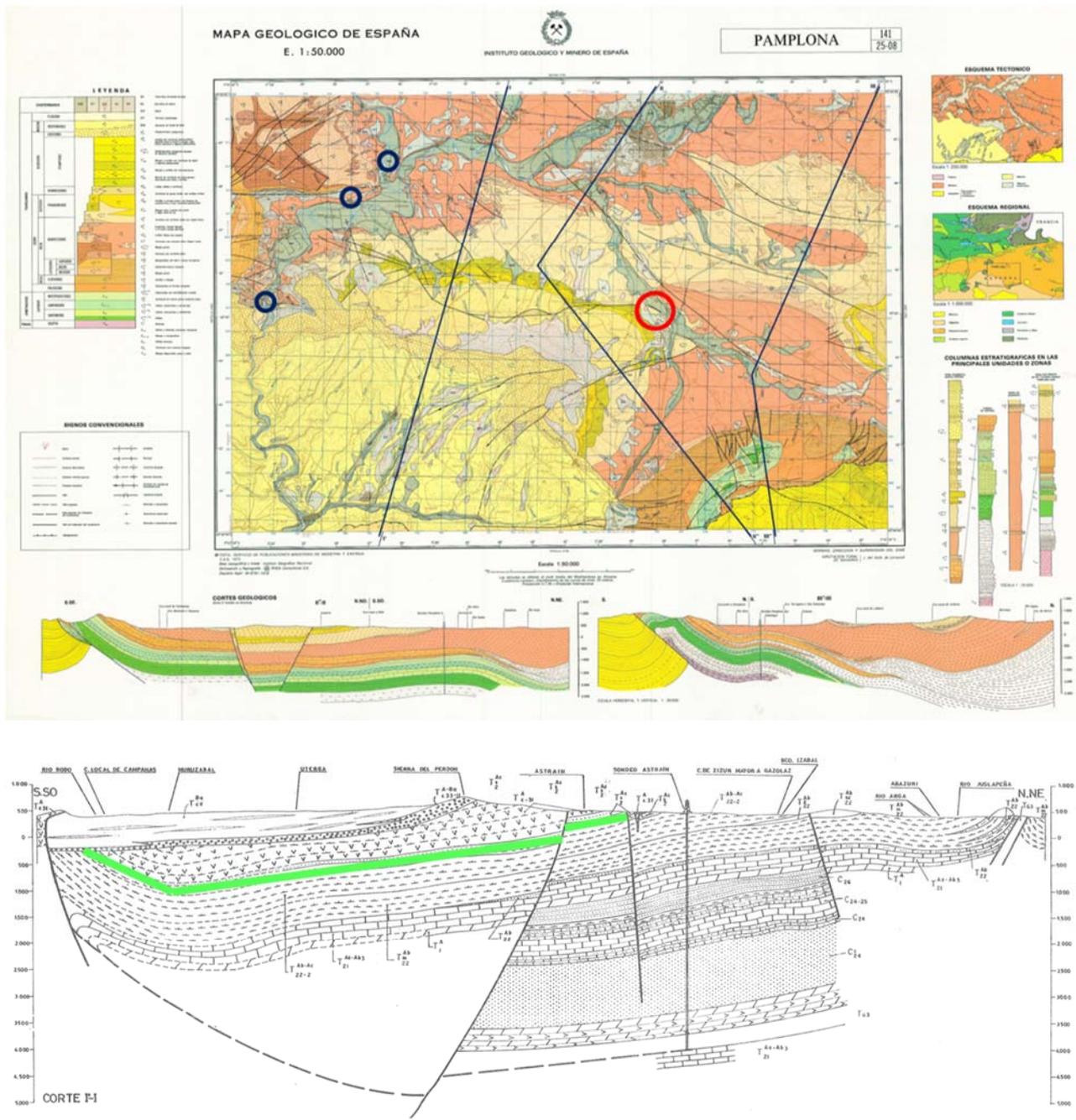


Figura 1

Figura 2. Cartografía geológica, perfiles geológicos I-I', II-II' y III-III', y ubicación de la zona de evacuación de salmuera y manantiales salinizados. La formación de mineralización de potasa está coloreada en verde sobre el Perfil I-I'. Modificado del Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 141 (25-08) Pamplona del IGME (www.igme.es).

En cuanto a la composición litológica, las formaciones geológicas en las que se produciría la evacuación de las salmueras son un conjunto de calizas del Eoceno inferior y medio, al que se podrían sumar dolomías del Paleoceno subyacentes, definido como un acuífero con un espesor total de unos 400 m. En profundidad, se encuentra una serie de calizas, dolomías y areniscas del tramo alto del Cretácico superior, bajo las que subyace un sustrato poco permeable formado por margas y limolitas del Campaniense (tramo intermedio del Cretácico superior). A techo, el acuífero es confinado bajo las formaciones de baja permeabilidad constituidas principalmente por las margas de Pamplona de edad Bartonense-Priabonense Inferior (Eoceno medio). En principio, dado que sólo los 150 metros más superficiales de calizas del Eoceno parecen haber sido interceptados por los sondeos de la empresa minera para la evacuación de salmueras, POSUSA entiende que el sistema de almacenamiento no incluye las calizas y areniscas subyacentes del Cretácico superior, aunque se considera probable su conexión con el acuífero Paleoceno-Eoceno en zonas muy fracturadas (IGME, 2004).

El marco hidrogeológico de la fosa del Perdón está constituido por la MASb de la Sierra de Alaiz, en la que dicha fosa ocupa un lugar central (Figura 3). Esta MASb, con código 090.029 según la nomenclatura del Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, aprobado por Real Decreto 129/2014, de 28 de febrero, está constituida por las mismas formaciones calcáreas del Paleoceno-Eoceno, objeto del almacén de salmuera. Desde el punto de vista de gestión de recursos hídricos, a estas formaciones se suman las calizas y areniscas infrayacentes del Cretácico superior, así como otros niveles permeables más superficiales desconectados del acuífero carbonatado y entre ellos mismos, como son las areniscas de Galar del Eoceno superior, los conglomerados del Perdón del Oligoceno-Mioceno, y las formaciones Cuaternarias permeables de depósitos coluviales y aluviales.

El acuífero Paleoceno-Eoceno de esta MASb tiene, por tanto, un tamaño mayor que la fosa del Perdón, y se extiende hacia el SE, más allá de la falla de Beriain-Eneriz, hasta que sus materiales llegan a aflorar en la propia Sierra de Alaiz, que constituye su zona principal de recarga. El cabalgamiento de estos materiales sobre los sedimentos terciarios de la Cuenca del Ebro forma el límite SE de esta MASb. También se extiende este acuífero más al N de la falla de Esparza, hasta el río Arga que forma su límite N, en una extensión en la que deja de estar confinado hacia el O para emerger en la margen derecha de dicho río, en la zona de Etxauri. El borde E coincide con el anticlinal de Zabalegui, y el borde O con el río Arga y la falla de Belascoáin.

El yacimiento potásico del Perdón está formado por unos niveles evaporíticos del Eoceno terminal, que se sitúan sobre una serie margosa que forma el tránsito entre el Eoceno medio y el Eoceno superior y bajo otra serie margosa que se va haciendo arenosa a techo hasta pasar al nivel superior constituido por las areniscas de Galar, por lo que han tenido reducida conexión con los materiales acuíferos. Las fallas que afectan a estas sales, algunas de las cuales han sido atravesadas por las labores mineras, no presentan circulación de aguas subterráneas (Del Valle, 1992).

El río Arga atraviesa la zona de estudio constituyendo el contacto entre las masas de agua subterránea de la Sierra de Alaiz al E y de la Sierra de Andía (código 090.018) al O, desde la desembocadura en él del río Arakil hasta su paso por Puente la Reina (Figura 3).

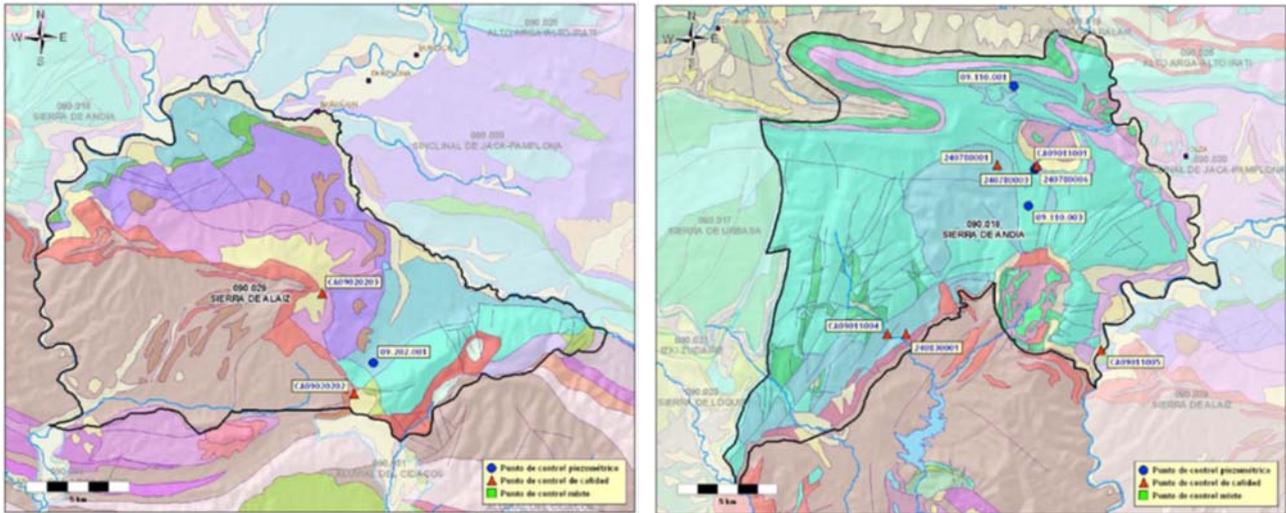


Figura 3. Masas de agua subterránea de la Sierra de Alaiz (código 090.029) a la izquierda y de la Sierra de Andía (código 090.018) a la derecha.

La superficie de la MASb de la Sierra de Alaiz es de 279 km² y sus recursos se estiman en unos 20 hm³/a. La MASb de la Sierra de Andía tiene una extensión de unos 300 km² y unos recursos hídricos de unos 86 hm³/a. Ambas tienen una explotación mínima. La MASb de la Sierra de Andía está compuesta por formaciones calcáreas del Paleoceno-Eoceno con características semejantes a las de la Sierra de Alaiz. Los materiales acuíferos que albergan ambas MASb funcionan como libres en las principales zonas de recarga de las Sierras de Alaiz y Sarbil, y como confinados casi en toda la extensión de la zona de estudio, especialmente en el centro de la fosa del Perdón. La mayor parte de la descarga natural de estas MASb se debe producir hacia el río Arga, bien en forma concentrada a través de fallas que dan lugar a manantiales (Ibero, Etxauri y Belascoáin) o bien de forma difusa (Figura 4).

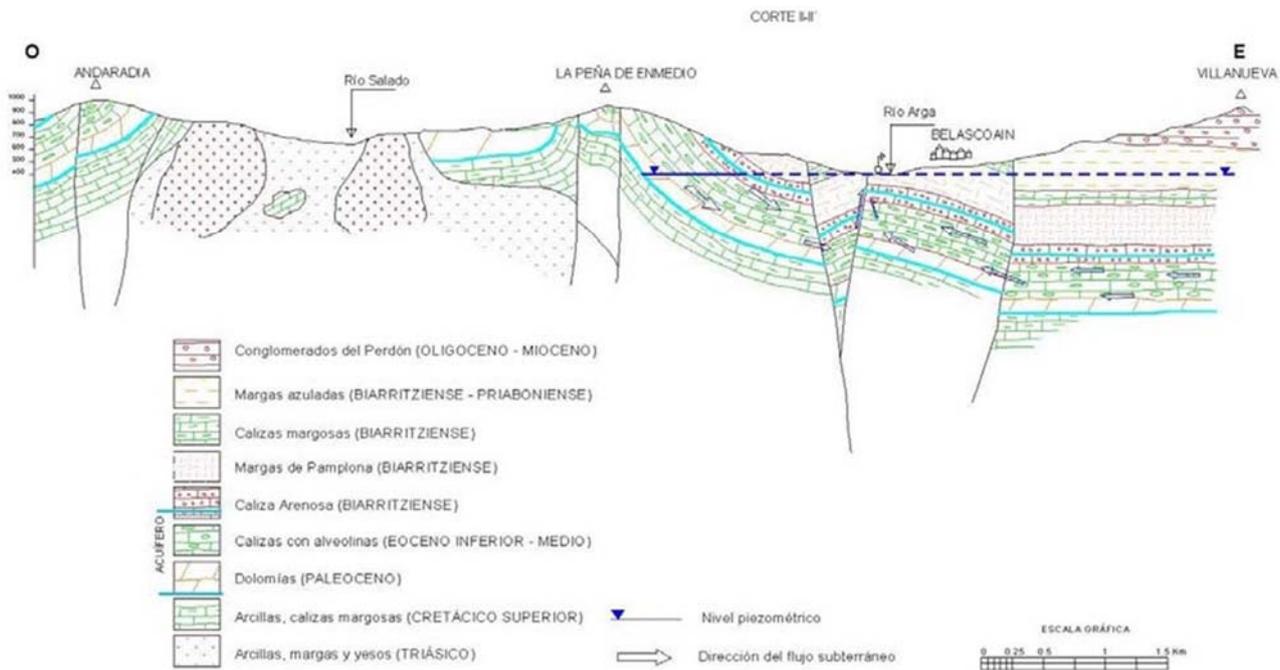


Figura 4. Perfil hidrogeológico perpendicular al río Arga en el entorno del manantial de Belascoáin, mostrando el flujo del agua subterránea en las MASb de las Sierras de Alaíz al E y Andía al O (Fuente: <ftp://ftp.chebro.es/Hidrogeologia/FichasMasas/018%20Andía.pdf>)

Los valores de transmisividad del acuífero Paleoceno-Eoceno están comprendidos entre 150 m²/día, obtenidos por el Gobierno de Navarra en un sondeo en Ibero, 600-1000 m²/día obtenidos en la cantera de UNCONA, y del orden de 4000 m²/día, obtenidos por POSUSA en ensayos de admisión en dos de los sondeos de evacuación de salmuera (IGME, 2004). Esta disparidad de valores se interpreta en el informe citado como debida a que el acuífero es permeable por fisuración. De hecho, las formaciones del Paleoceno se describen como afectadas por dolomitización que ha dado lugar a porosidad secundaria y favorece una intensa karstificación adireccional, mientras las calizas del Eoceno se describen con permeabilidad direccional por fracturación.

Los valores del coeficiente de almacenamiento están comprendidos entre 8×10^{-2} en el sondeo de Ibero, donde el acuífero funciona como libre, y $3,2 \times 10^{-4}$ en los sondeos de evacuación, donde está confinado. El primero de estos valores se considera la mejor aproximación para el valor de la porosidad a efectos de estimar la capacidad de almacenamiento para la evacuación de salmuera (IGME, 2004).

2.1.3. El sistema de evacuación de salmuera

La descripción que sigue está basada en la información aportada por POSUSA, y está contenida principalmente en los estudios elaborados para dicha empresa por AURENSA (1990), IGME (2004), y GANASA desde 2013, estos últimos editados como informes semestrales de gestión de



salmueras (GANASA, 2016), y en el informe de GEOAQUA (2009), elaborado para la CHE, y facilitado por la Confederación Hidrográfica del Ebro.

2.1.3.1. Formación geológica receptora y sondeos de evacuación

El sistema utilizado para gestionar de forma definitiva las salmueras que se generan en las instalaciones mineras se basa en su evacuación por gravedad en sondeos de 1000 a 1350 m de profundidad a una formación geológica receptora, que agrupa los acuíferos carbonatados del Paleoceno y Eoceno de la MASb de la Sierra de Alaiz.

Este sistema de evacuación se diseñó tras una evaluación preliminar de la formación geológica receptora, considerando que ésta tenía un volumen de almacenamiento suficiente, unos valores de parámetros hidráulicos favorables, y una geometría que favorecía su estanqueidad o su reducida participación en los sistemas de flujo de aguas subterráneas del entorno. La estructura de la fosa del Perdón se considera cerrada en fondo de saco, donde las formaciones acuíferas sufren un progresivo confinamiento hacia el SO, con el consiguiente aumento de espesor de los materiales de baja permeabilidad suprayacentes. En esta dirección aumentaría el tamaño del almacén por aumentar también su extensión superficial entre las fallas de Beriain-Eneriz y Esparza (Figuras 1 y 2). Las formaciones geológicas en las que se produce la evacuación de salmuera no incluyen, en principio, las formaciones permeables del Cretácico superior, detalle de importancia a la hora de evaluar la capacidad de almacenamiento del conjunto sedimentario.

La operación de este sistema se inició en el año 1965, con la perforación del primer sondeo de evacuación, S-1, de 1208 m de profundidad. Desde 1965 se han perforado 7 sondeos con objeto de ir sustituyendo a las perforaciones anteriores según iban quedando inoperativas. De ellos, sólo 5 han llegado a funcionar, todos ellos perforados en la misma formación geológica, en la que penetran hasta un máximo de unos 150 m. La Tabla 1 muestra datos básicos sobre la ubicación y operación de estos sondeos y la Figura 5 dos perfiles característicos.

Es importante destacar aquí que todos los sondeos de evacuación de salmueras encontraron originalmente agua dulce en las calizas del Eoceno, al igual que todos los sondeos petrolíferos perforados en la zona (Pamplona Sur-1, Pamplona-5, y Astrain-1). De hecho, los informes de prospección de hidrocarburos concluyen que el interés de la formación calcárea eocena a este respecto es nulo debido a estar los posibles almacenes lavados por agua dulce.

Sondeo	CoordX	CoordY	Cota (m snm)	Profundidad (m)	Prof. Techo (m)	Prof. Pérdida lodos (m)	Espesor de caliza atravesado (m)
S-1	611799	4734035	439.503	1208	1083	1170	131.5
S-2				1182	1056		118.4
S-3	612550	4734007	445	980	938	938	41.5
S-4				1137	960		177
S-5	611953	4733995	442	1180	1070	1130-1160	112.5
S-6	612550	4734025	445.093	1014	973	973.5-1014	41.5
S-7	611988	4733975	443.171	1350	1092	1148-1160, 1163-1240	

Sondeo	Volumen inyectado (m ³)	Año de perforación	Estado actual	Años de actividad	Observaciones
S-1	9500000	1965	Fuera de uso	28	Rotura de tubería de revestimiento año 1993
S-2	0	1967	Fuera de uso	0	No se utilizó nunca, era poco transmisivo
S-3	1320000	1967	Fuera de uso	6	Rotura de tubería de revestimiento año 1975
S-4	0	1971	Fuera de uso	0	Presentó problemas de perforación que impidió que se terminara adecuadamente
S-5	33540000	1971/72	Fuera de uso	28	Obstrucción del sondeo año 1999, colapsamiento en la tubería de revestimiento
S-6	14040000	1975/76	En uso	34	Reperforado a 1131 m en 1999
S-7	5160000	1999	En uso	11	Según informe de perforación se alcanzaron los 1242 m

Tabla 1. Características de los sondeos de evacuación de salmuera (Modificado de CHE-Geoquímica, 2009, con datos de IGME (2004), e información de perforación suministrada por POSUSA)

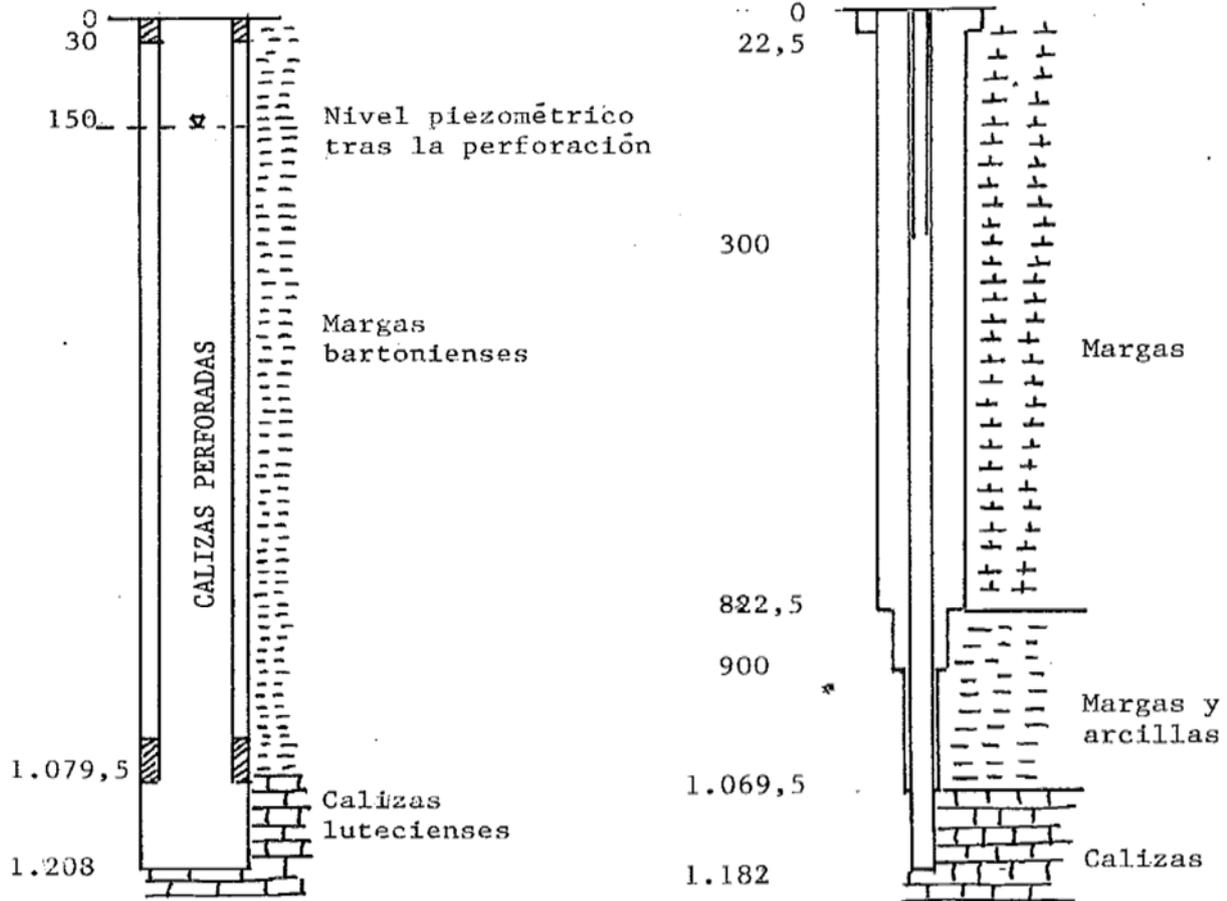


Figura 5. Esquema hidrogeológico de los sondeos de evacuación de salmuera: S-1 (izquierda) y S-5 (derecha). Fuente AURENSA (1990).

En un cálculo aproximado del volumen de acuífero afectado hasta la fecha por el ingreso de la salmuera de evacuación, a partir de la información aportada por POSUSA sobre su geometría y su porosidad eficaz, se llega a la conclusión de que éste no llega al 20% del total (Figura 6).

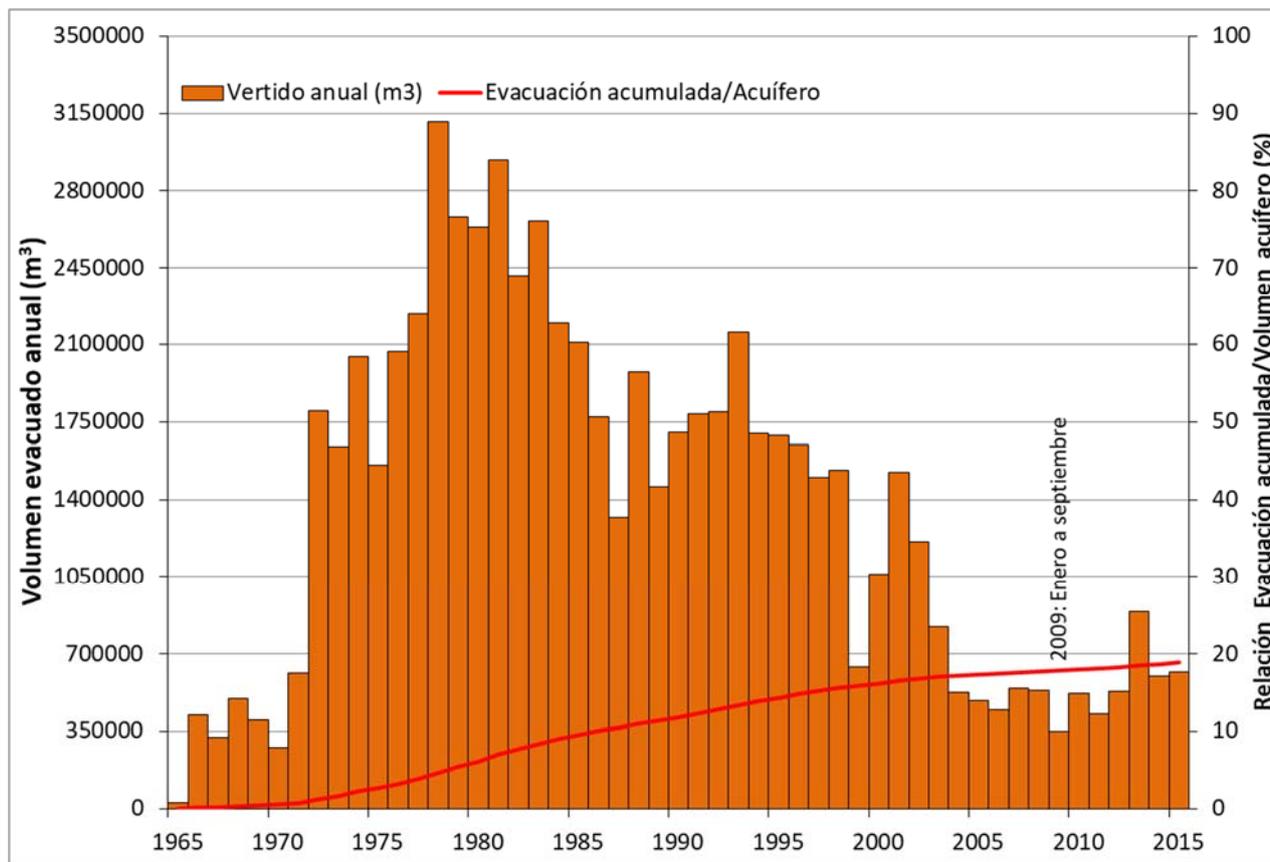


Figura 6. Comparación del volumen de salmuera evacuada anualmente con el volumen de acuífero ocupado por la misma. Extensión superficial del acuífero: 279 km², espesor: 155 m y porosidad eficaz: 0.01.

2.1.3.2. Origen de las salmueras y volúmenes de evacuación

Las salmueras proceden, en origen, de las siguientes vías: 1) rechazo de la planta de tratamiento; 2) red de drenaje que recoge los lixiviados del agua de precipitación sobre las escombreras ubicadas en el terreno próximo a la planta, en el que ocupan unas 100 Ha; y 3) lixiviados que escapan de esta red y llegan a los drenajes del polígono industrial de Gonvauto mezclados con las aguas del acuífero aluvial de las terrazas del río Elorz.

Las salmueras se almacenan siempre en varias balsas o depósitos en superficie, previamente a su evacuación en los sondeos. Así el Vaso de Salinas y la balsa Zolina recogían, por un lado, la salmuera procedente del rechazo de la planta de tratamiento, y por otro, la salmuera que se origina por el lixiviado de las escombreras, mientras que el depósito de Media Ladera recogía los lixiviados de los drenajes de Gonvauto y las terrazas del río Elorz.



En la Figura 7 se muestran dos esquemas de los balances de sólidos y líquidos correspondientes al año 1989, representativos de la gestión que se realizó desde el inicio de la explotación hasta el año 1997. En 1997 dejó de utilizarse como parte del sistema la balsa de Zolina, cuyas aguas eran reutilizadas en la vehiculación de lodos desde la Fábrica hasta dicha balsa, que es la situación que muestra el esquema de la Figura 7. Desde 1997 hasta el año 2016, todas las aguas se enviaban al Vaso de Salinas, y desde entonces las aguas del depósito de Media Ladera se envían directamente al sondeo S-6, y las aguas del Vaso de Salinas se envían al sondeo S-7, como muestran las vías resaltadas en rojo en dicha figura.

Los trabajos de restauración ambiental de las escombreras, iniciados en 2008 por Salinas de Navarra S.A. con posterioridad al cese de la explotación de la mina, han seguido requiriendo de la evacuación de la salmuera generada como residuo y por lixiviación de las escombreras, por lo que esta evacuación continúa en la actualidad. Esta restauración se combina con el aprovechamiento de la sal, en este caso principalmente halita, que se almacenó en superficie como residuos de la fabricación de potasa.

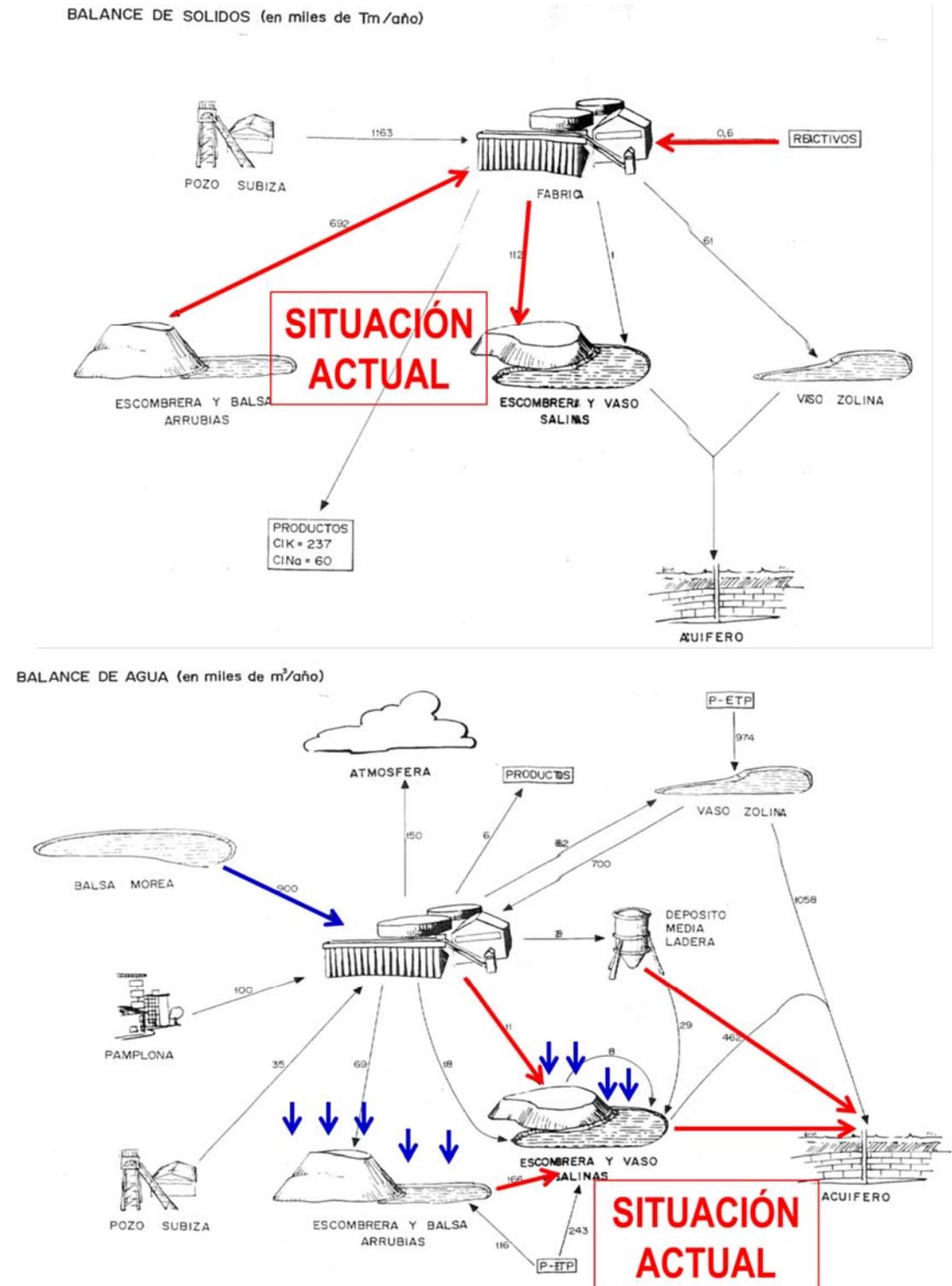


Figura 7. Balance de sólidos y de líquidos representativos de la situación en el año 1989 (en negro) y en la actualidad (resaltados en color) (Fuente: POSUSA, 1989 y 2017).

La Figura 8 muestra la distribución temporal del volumen de salmuera evacuado en los diferentes sondeos en el período 1965-2009 y cómo han ido siendo sustituidos unos sondeos por otros según quedaban inoperativos.

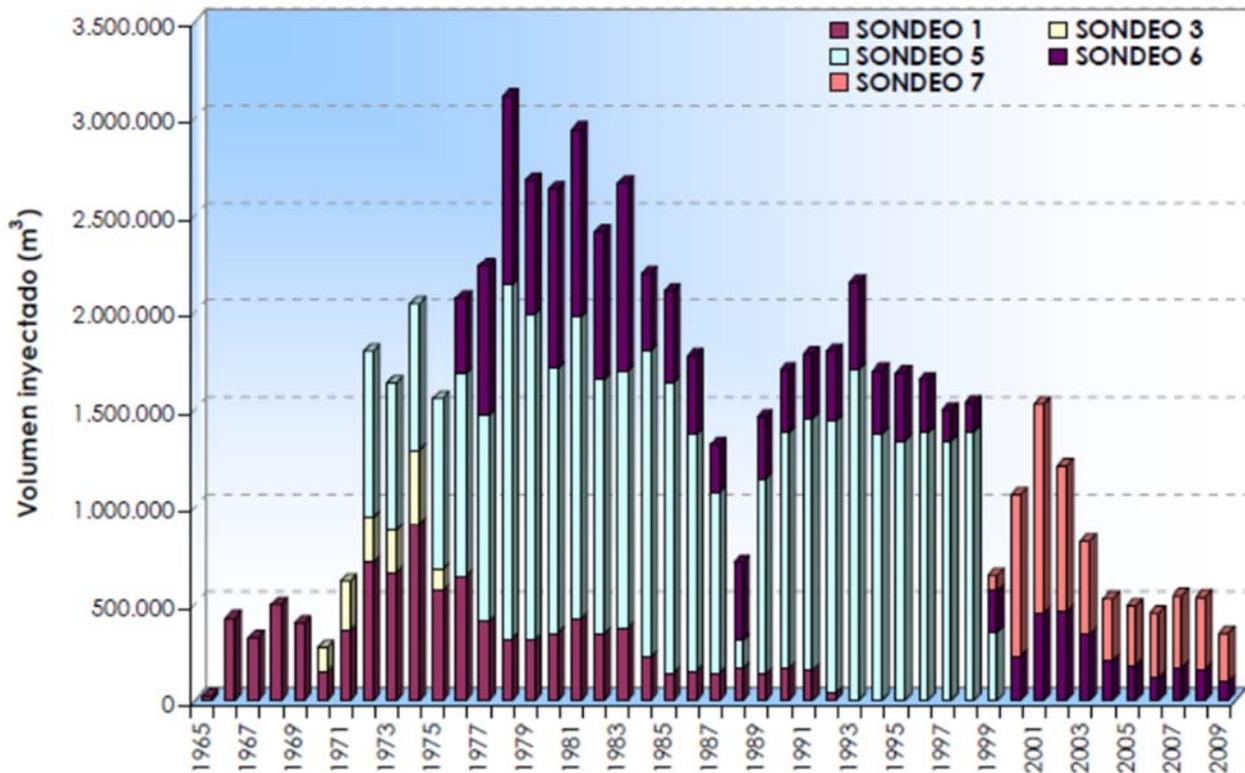


Figura 8. Distribución anual de los volúmenes de salmueras evacuadas en los diferentes sondeos durante su vida útil entre 1965 y 2009 (Fuente: CHE-Geoqua, 2009). Nota: Hay un error en los volúmenes evacuados en 1988, que fueron realmente de 165.400 m³ en el sondeo S-1, 1.419.200 m³ en el sondeo S-5 y 391.450 m³ en el sondeo S-6, con un total de 1.976.300 m³, según los datos aportados por POSUSA (AURENSA, 1990).

Los factores que han podido contribuir a estos cambios de volumen son: 1) los distintos procesos de fabricación utilizados, primero dedicados a una mayor producción de sales potásicas y en la actualidad exclusivamente a la producción de sales sódicas; 2) la distinta riqueza y composición de los minerales procedentes de los diferentes yacimientos explotados; 3) el diferente grado de lixiviación de las escombreras en función de la precipitación y del área de escombreras afectada; 4) el diferente diseño de los sistemas de drenaje que recogían y mezclaban estos lixiviados con las salmueras de rechazo de la fábrica; y 5) el diferente tiempo de residencia de las salmueras en las balsas antes de su evacuación.

De estos factores, las principales diferencias de volumen parecen deberse a la cantidad de precipitación, que influye directamente en la cantidad de lixiviados generados a partir de las escombreras. Este hecho se ha apreciado claramente en la distribución estacional del volumen de salmuera evacuado durante los años 2008 y 2009 (Gеоаquа, 2009). La evolución de la cantidad de mineral extraído y de sal fabricada en cada momento ha debido de ser el segundo factor en importancia, dado que afectan directamente a una de las corrientes de salmuera (la del rechazo de fabricación) y al aumento del volumen y extensión de escombreras. De hecho, la Figura 9 muestra una buena correlación entre la desviación acumulada de la precipitación en la zona, en la que se marcan las tendencias a períodos húmedos y secos, y el volumen de salmuera que ha sido necesario gestionar por evacuación cada año. El desfase entre el final del período húmedo ocurrido en 1985 y el máximo de volumen de salmuera generada en torno a 1980, puede atribuirse al descenso en la producción que tuvo lugar a partir de este año, pese a que la precipitación continuó creciendo cinco años más.

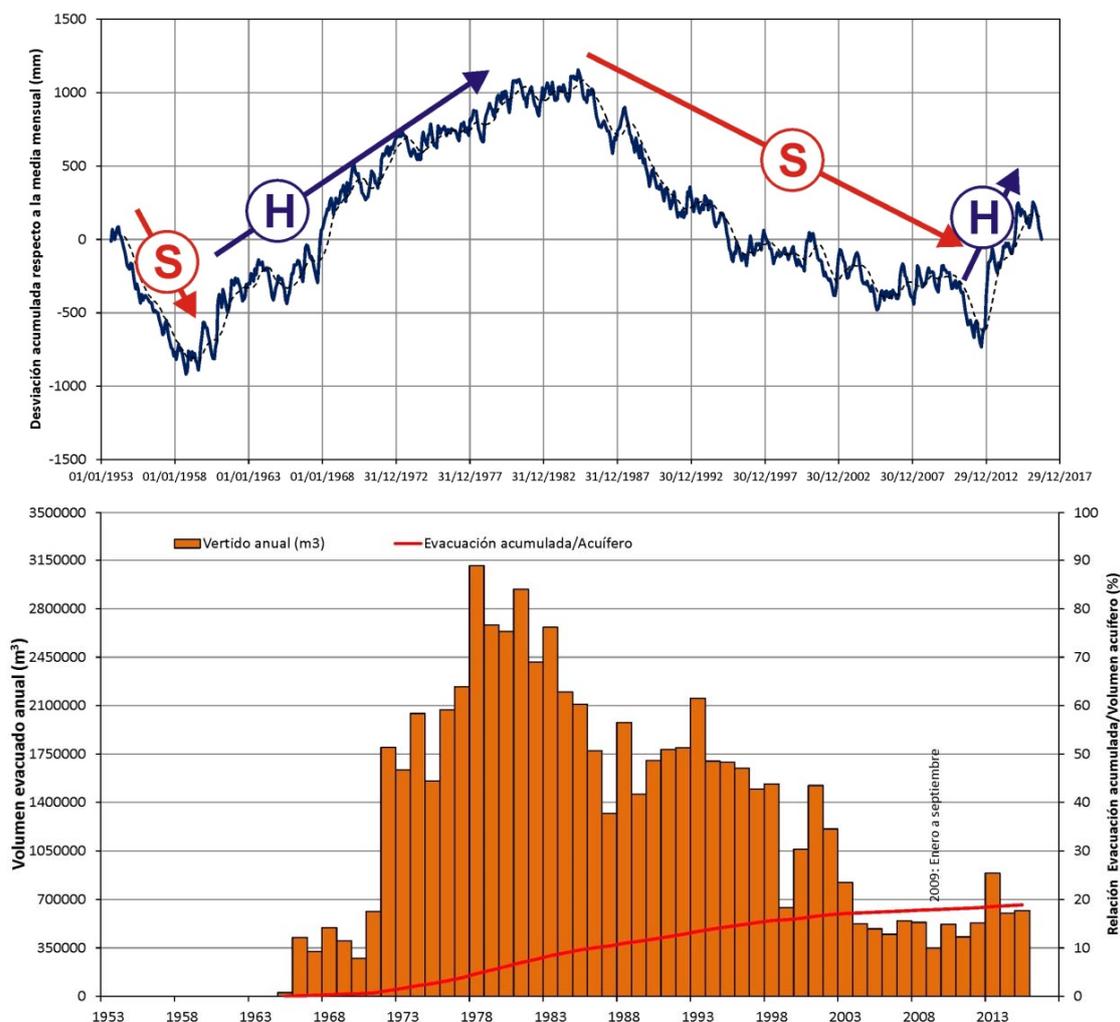


Figura 9. Desviaciones acumuladas de la precipitación (estación Pamplona-Instituto) y volumen anual de salmuera evacuado

Desde el año 2000 hasta la actualidad, incluyendo el período de este estudio 2016-2017, están en operación dos sondeos, denominados S-6 y S-7, en los que desde 2004 se evacúa un total de unos 550000 m³/a de salmuera, de los que un 10% se envía al sondeo S-6 y el restante 90% al sondeo S-7. El volumen total de salmueras que se ha evacuado hasta la fecha a la masa de agua de la Sierra de Alaiz es cercano a 70 hm³ según la información aportada por POSUSA.

La Figura 10 muestra la distribución anual porcentual de los volúmenes de salmueras aportadas por las diferentes fuentes en los años 2007 y 2008, distribución que, en general, se mantiene hasta la actualidad, y en la que se puede ver que el 90% del volumen de salmuera tiene su origen en la lixiviación de escombreras por el agua de precipitación, y que sólo el 10% proviene de las purgas de la fábrica.

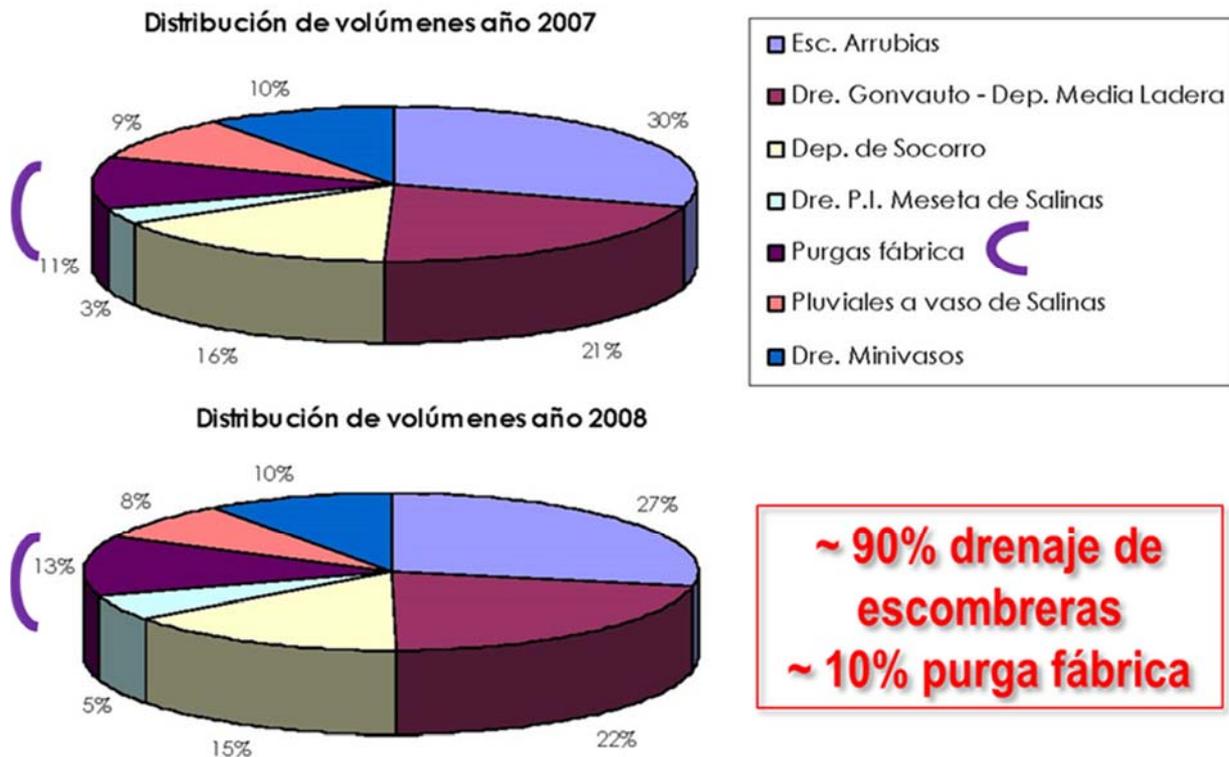


Figura 10. Distribución anual porcentual de los volúmenes de salmuera aportados por las diferentes fuentes en los años 2007 y 2008 (Modificada de CHE-Geoqua, 2009).

2.1.3.3. Características físico-químicas e isotópicas de la salmuera industrial

Los datos más antiguos aportados por POSUSA sobre la composición química de las salmueras corresponden a la situación de explotación y fabricación de 1975. En esos momentos, el proceso de fabricación originaba dos tipos de aguas residuales que se clasificaban como líquidos magnesianos y no magnesianos con la composición que se muestra en la Tabla 2. Las salmueras

magnesianas se originaban en el proceso de fabricación, y las salmueras no magnesianas se generaban como mezcla de los drenajes de la propia fábrica y de las diferentes escombreras, y son las que finalmente eran evacuadas. Probablemente esta descripción corresponde a un momento en el que, tanto durante la explotación como durante la fabricación, se trataba un porcentaje de carnalita (cloruro hidratado de potasio y magnesio), además de silvinita (cloruro de potasio). IGME (2004) indica que “En algún momento sin determinar comienza la explotación de carnalita con la emisión de un volumen muy importante de lejías magnesianas”. Sin embargo, según esta información, los valores de pH de las salmueras magnesianas son ácidos y no básicos como correspondería al término “lejía”, y parecen quedar neutralizados durante la mezcla con otros líquidos procedentes de los diferentes drenajes antes de su evacuación.

Tipo de salmuera	Volumen (m ³ /h)	Destino	Cl (g/l)	Na (g/l)	K (g/l)	Mg (g/l)	Densidad (g/cm ³)	pH	T (°C)
Magnesiana	150	S-3 y S-5	349	3.9	4.5	116	1.3	3.5-4.5	59
No magnesiana	240	S-1 y S-5	86.2	31.8	17.8	7.1	1.1	7.0-7.5	-

Tabla 2. Composición química de las aguas residuales de la fábrica de POSUSA en 1975 (Fuente: AURENSA, 1990)

Los siguientes datos facilitados por POSUSA corresponden al control que realizaba la empresa de las salmueras de las balsas de Zolina y Salinas, donde se almacenaban justo antes de su evacuación, durante los años 1986 a 1990 con periodicidad casi semanal (AURENSA, 1990) (Figura 7). Para este control se medía la densidad y las concentraciones de ClK, Cl₂Mg, ClNa y SO₄Ca de las aguas. Las salmueras de ambas balsas tienen una composición similar, y las concentraciones de K y Mg son, en ambos casos, del orden de la mitad de las medidas en las salmueras no magnesianas (Tablas 2 y 3). Aunque no se ha representado en la Tabla 3, que recoge los valores medios de unas 120 muestras en estos cuatro años, las concentraciones de Cl descendieron de unos 120 g/l en el período 1986-88 a unos 80 g/l en 1989-90.

Posteriormente, el informe de IGME (2004) para POSUSA presenta los resultados de los análisis de varias muestras tomadas en 2003 de salmueras procedentes de las balsas de vertido y de los lixiviados de las escombreras. Adicionalmente, en IGME (2004) se describe otra muestra procedente de un manantial afectado por la lixiviación de los materiales del Triásico que forman el diapiro de Salinas de Oro (Tabla 3). Esta información, a pesar de su carácter puntual, muestra: 1) una composición similar a la observada en 1986-1990 para la salmuera de la balsa de Salinas; 2) una clara diferencia en los valores de conductividad eléctrica, del orden del doble entre las aguas procedentes de balsas y escombreras; y 3) diferencias notables en el valor de algunos indicadores hidrogeoquímicos entre las salmueras de materiales triásicos y las de materiales del Eoceno, especialmente en valor del índice rCl/rK, casi 10 veces mayor en las primeras.

El siguiente bloque de información sobre la composición química de las salmueras se encuentra en el informe de GeoAqua (2009), que contiene datos aproximadamente quincenales del período

2008-2009 de análisis químicos y volúmenes de las salmueras que se enviaban finalmente a cada uno de los dos sondeos operativos (S-6 y S-7), además de análisis químicos de muestras y medidas puntuales de volumen tomadas durante ese mismo período en puntos de circulación intermedios del sistema de gestión (balsas y drenajes). Según dicho informe, las salmueras se evacúan indistintamente a los dos sondeos con la misma composición, clorurado-sódica, y una salinidad más elevada que la observada en los años anteriores, con contenidos de Cl que varían entre 75 y 172 g/l (la Tabla 3 muestra la composición media del análisis de cuarenta muestras). Esta variabilidad es mayor entre las diferentes muestras recogidas en puntos previos al envío a los sondeos debido a la mayor o menor dilución provocada por las aguas de precipitación.

Por último, a partir de 2013, GANASA empezó a recoger de forma sistemática datos mensuales de la composición química de las salmueras enviadas a los sondeos S-6 y S-7 (Tabla 3), además de sus volúmenes (GANASA, 2016). Desde ese año las salmueras enviadas al sondeo S-7 proceden del Vaso de Salinas, donde se recogen los líquidos de rechazo de la fábrica y los lixiviados de la mayor parte de las escombreras, mientras que las salmueras enviadas al sondeo S-6 proceden del depósito de Media Ladera, donde se recogen los lixiviados que llegan a los drenajes del polígono industrial de Gonvauto mezclados con las aguas del acuífero aluvial de la terrazas del río Elorz. Los datos de las concentraciones de Cl, SO₄, Na, K, Mg y Ca de estos dos tipos de residuos líquidos muestran que las salmueras de Media Ladera tienen un contenido total de sales tres veces inferior a las del Vaso de Salinas.

Tipo de salmuera	Cl (g/l)	SO ₄ (g/l)	Na (g/l)	K (g/l)	Mg (g/l)	Ca (g/l)	Densidad (g/cm ³)
Balsa de Salinas 1986-1990	86.5	2.4	44.6	7.8	2.6	0.9	1.1
Balsa de Zolina 1986-1990	71	3.8	29.1	12.5	3.5	1.6	1.08
Balsa de Salinas 2003	98.7	6.1	60	5.7	1.8	3.3	-
Salinas de Oro 2003	66.7	5.6	41.6	0.5	0.9	3.8	-
Salmueras evacuadas a S-6 y S-7 2008-2009	124.4	5.2	80.3	2.7	0.7	1.3	-
Salmueras evacuadas a S-6 y S-7 2008-2016	133.9	4.8	86.1	2.8	0.7	1.2	1.09

Tabla 3. Composición química de las salmueras industriales de evacuación en muestras tomadas en las balsas de Salinas y Zolina, y en los sondeos S-6 y S-7, y de las salmueras originadas en contacto con los diapiros triásicos en muestras tomadas en un manantial en Salinas de Oro (Fuentes: AURENSA (1990), IGME (2004), Geoaqua (2009) y GANASA (2016)).

Como se acaba de ver, la información sobre la composición química de la salmuera que se ha venido evacuando en los sondeos, y cuyo impacto ambiental se pretende evaluar, es puntual y

escasa. No obstante, los datos históricos de análisis químicos de salmueras contenidos en AURENSA (1990), IGME (2004) y Geoagua (2009) permiten, junto a los datos mensuales más recientes facilitados por POSUSA (GANASA, 2016), ver que no sólo el volumen, sino también la salinidad total y la composición química de las salmueras han variado en el tiempo notablemente a lo largo de las más de cinco décadas de funcionamiento de la industria de fabricación de sal.

Quizá el aspecto más relevante afecta a la evolución de la concentración total de sales de la salmuera evacuada, que muestra variaciones de 50 a 175 g/l de Cl en todo el período de funcionamiento del sistema. La correlación de estos cambios de salinidad con los valores de la precipitación o la producción es más difícil que en el caso del volumen (Figura 9) debido a la falta de una serie completa de análisis químicos. En general, las salmueras están más concentradas en la última década, coincidiendo con un menor volumen de evacuación. Los valores mínimos de salinidad se midieron mayoritariamente en 1989-90. Habría sido interesante conocer la evolución en el tiempo de la salinidad total y de la composición química de las salmueras evacuadas, para poder identificar mejor su huella en los manantiales, y evaluar mejor la correlación existente entre masa de sal evacuada y salinidad de los manantiales.

No obstante, el otro aspecto que destaca, y que se muestra en la Figura 11, es la relativa homogeneidad de estas salmueras en cuanto a los porcentajes relativos de los constituyentes mayoritarios para las diferentes fechas y tipos de salmueras evacuadas, que pueden definirse con una buena aproximación por una primacía de los contenidos en Cl y Na, y los elevados contenidos de K en comparación con las aguas del entorno. Esta homogeneidad ha sido mayor en las últimas décadas, observándose una mayor oscilación en la concentración de Mg en los años 1986-90.

Sorprende que en la información aportada por POSUSA, no se hayan encontrado datos de la concentración de bicarbonatos, que es un parámetro fundamental para la evacuación en sondeos profundos en una formación carbonatada, dado que permite definir el equilibrio carbonatado y prevenir procesos de colmatación de huecos que podrían frenar el proceso.

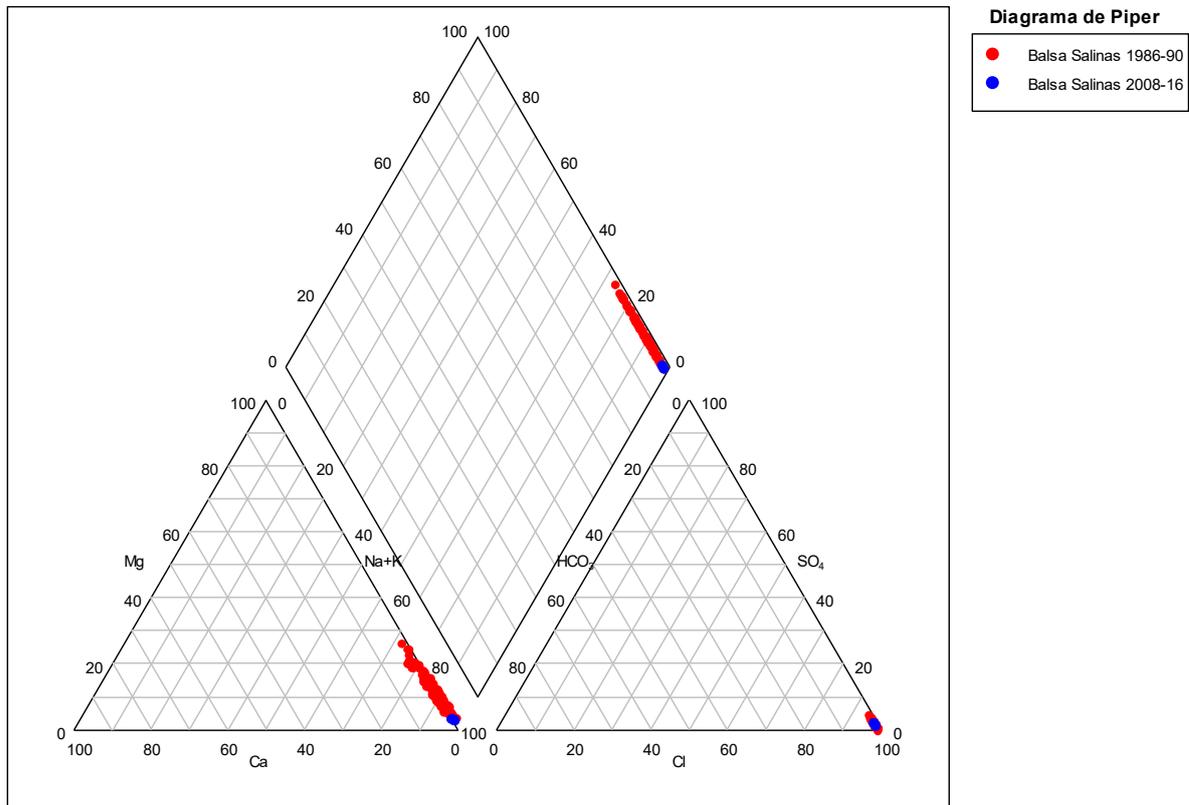


Figura 11. Diagrama de Piper de las salmueras muestreadas y analizadas en AURENSA (1990) y GANASA (2016). Los valores de la concentración de bicarbonatos están tomados como la media de los análisis realizados por Geoaqua (2009).

En cuanto a la composición isotópica del agua ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) de las salmueras evacuadas, la información incluida en el informe del IGME (2004) para POSUSA es la única que se ha encontrado, aunque sólo hay un dato medido en 2003 y sólo del valor de $\delta^{18}\text{O}$. Según la información facilitada por POSUSA, el agua de la salmuera industrial procede de la mezcla de dos tipos de agua que, en origen, deben tener bajo contenido en sales y composición isotópica similar a la de la precipitación de la zona: 1) el agua de alimentación a la planta, que es sometida a todo el proceso de extracción, primero principalmente de potasas y ahora de sal común; y 2) el agua de precipitación que cae, bien directamente sobre las balsas de residuos antes de su vertido a los sondeos, o sobre las escombreras.

El agua de alimentación de la planta procedía en origen del manantial de Subiza, cercano y ubicado en la Sierra del Perdón, que en el siglo pasado abastecía a Pamplona, por lo que debía tener una composición isotópica similar a la media de la precipitación ponderada por la cantidad de precipitación en esta Sierra (similar también a la de la Sierra de Sarbil). En la actualidad el abastecimiento se produce desde el embalsamiento endorreico de Morea, cuya composición isotópica corresponde a la de la precipitación pero con claras muestras de evaporación en lámina abierta, como muestran los análisis realizados por el CEDEX durante este trabajo.

El agua de las escombreras y de las propias balsas de residuos también tendrá un origen en la precipitación directa sobre su superficie y una composición similar a la del manantial de Subiza con ligeras variaciones por la diferencia de cota (entre un máximo de unos 1000 m s.n.m. en la cumbre de la Sierra del Perdón y unos 500 m s.n.m. en la zona de las balsas). Ambas aguas pueden estar afectadas por evaporación, sobre todo en las balsas, durante el proceso previo a su gestión definitiva en los sondeos profundos. De estas balsas IGME (2004) sí realizó análisis duales ($\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$) que mostraban una clara tendencia de evaporación a partir de una única agua de precipitación.

La composición isotópica original del agua de la salmuera de evacuación puede tratar de aproximarse conociendo que procede de la mezcla de los tipos de agua mencionados, aunque el efecto de la evaporación sea difícil de evaluar. Por ello, en este trabajo se han obtenido medidas directas periódicas del valor de $\delta^2\text{H}$ y $\delta^{18}\text{O}$ en las balsas (Morea y Salinas) y en las salmueras de evacuación, para apoyar esta aproximación, al menos en el momento actual. El objeto final es trazar la huella de los diferentes tipos de aguas que descargan en los manantiales afectados por salinización y poder identificar el origen de estas sales.

No se ha podido contar con datos de tritio de las salmueras que se han evacuado a través de los sondeos profundos. Cabe suponer que, si la mayor parte de ese volumen evacuado procede de la precipitación, su señal de tritio será similar a la de la lluvia.

Por otro lado, en el informe IGME (2004) y en la base de datos del Laboratorio de Aplicaciones Isotópicas (LAI) del CEDEX se han encontrado algunos valores de tritio de algunos manantiales de la zona de estudio. En cuanto a los primeros, proceden de muestras tomadas en los manantiales de Ibero (1999 y 2003), Etxauri (2003) y del balneario de Belascoáin (2003). En cuanto a los segundos, son muestras de 1977 de los mismos manantiales y del manantial de Arteta. Dichos valores se han representado en la Figura 12, junto al contenido en tritio en la precipitación de las estaciones pertenecientes a la Red de Vigilancia de Isótopos en Precipitación (REVIP) del CEDEX de Madrid (la estación con la serie más larga), y Zaragoza y Santander (más cercanas a la zona de estudio), cuya evolución puede suponerse similar a la del contenido en tritio de las salmueras. En dicha figura se han representado también los modelos de desintegración radiactiva para los tres manantiales en 2003, donde las aguas del manantial de Belascoáin presentan actividades de tritio relativamente bajas, en las que las aguas antiguas adquieren un gran peso, obteniéndose un tiempo medio de residencia de unos 50 años.

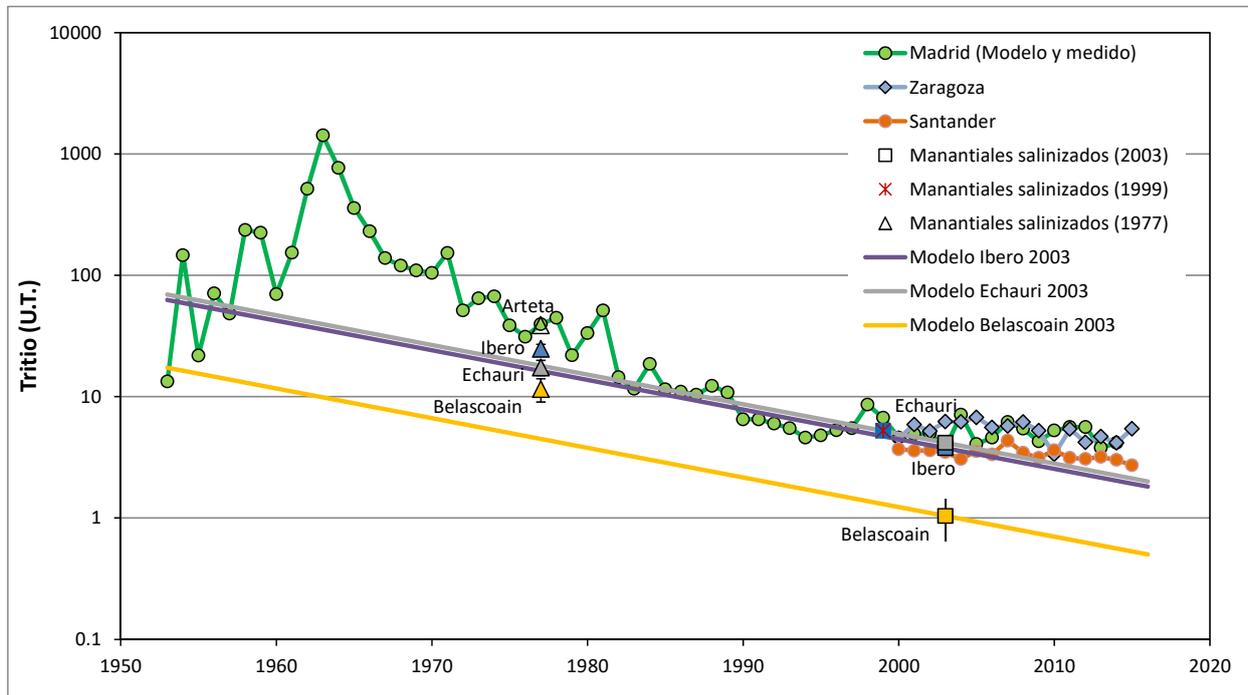


Figura 12. Comparación de los valores de contenido en tritio en muestras de aguas subterráneas de la zona anteriores al presente estudio con las de precipitación en Madrid (modelada y medida), Zaragoza y Santander.

Los resultados observados en 1977, coincidiendo con el comienzo del control sistemático de la hidroquímica de los manantiales, cuando aún era notorio el impacto del tritio debido a las explosiones termonucleares en las precipitaciones, muestran una situación parecida, aunque indicarían tiempos de residencia media de unos 20 años para el manantial de Belascoáin. Este tiempo sería respectivamente menor para las aguas de los manantiales de Etxauri, Ibero y Arteta, correspondiendo el valor de este último al de las aguas de precipitación muy próximo al período de muestreo.

2.1.4. Datos previos de meteorología, aforos en ríos y piezometría

Se ha recopilado la información de diferentes variables ambientales relacionadas con el medio hídrico que pueden condicionar los resultados del estudio o permiten tener una perspectiva de la evolución de los datos que se tratan en el mismo. Los datos recopilados son meteorológicos, foronómicos y piezométricos.

2.1.4.1. Datos meteorológicos

En la zona de estudio y sus proximidades existe un conjunto de estaciones meteorológicas controladas por diversos organismos o instituciones: Gobierno de Navarra (GN), Agencia Estatal

de Meteorología (AEMET) o Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). La situación de las estaciones activas a fecha de realización de este trabajo aparece en la Figura 13.

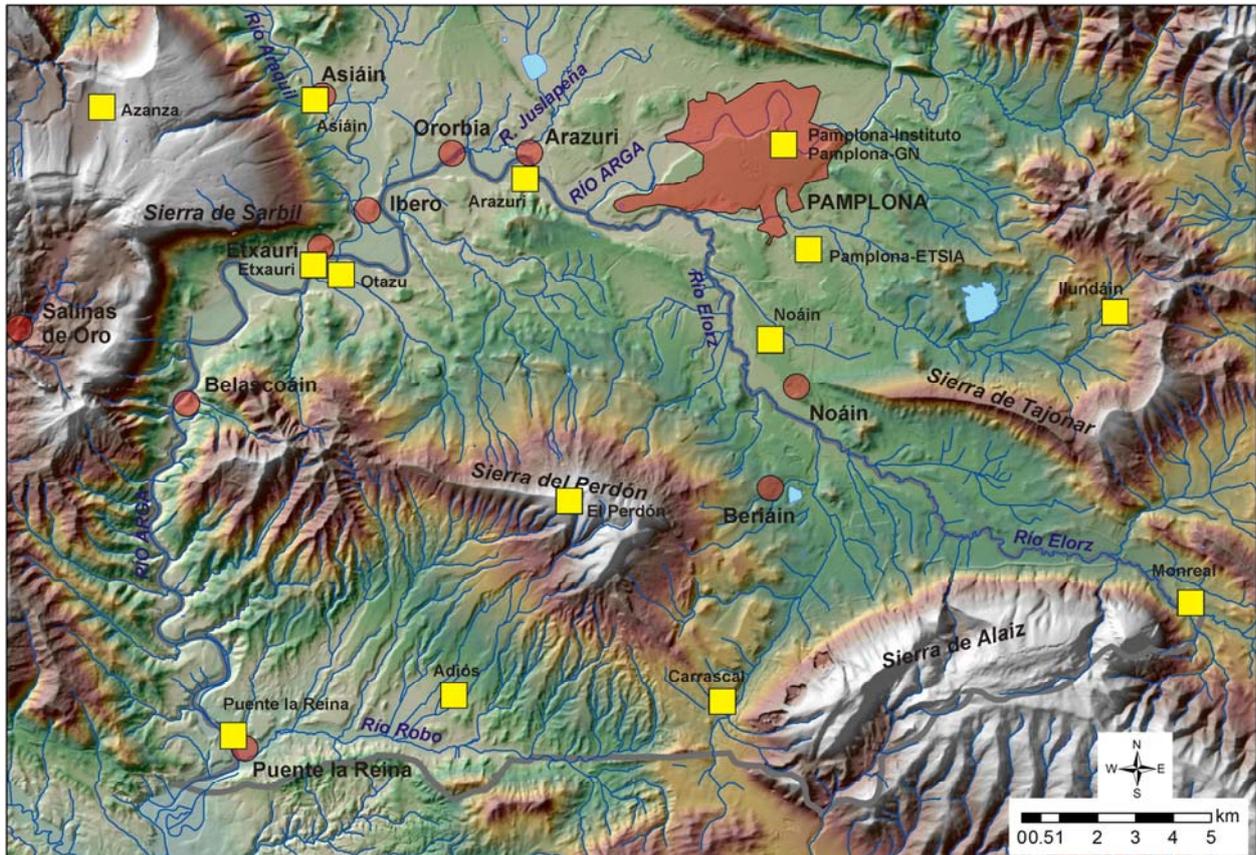


Figura 13. Situación de las estaciones meteorológicas cercanas a la masa de agua subterránea de la Sierra de Alaiz.

Los datos de la mayor parte de ellas se encuentran disponibles, a escala diaria, en el portal de Meteorología y Climatología del Gobierno de Navarra (<http://.meto.navarra.es>), aunque los datos recientes están sin validar.

La estación con mayor número de datos es Pamplona-Instituto o Pamplona-GN, que gestionan conjuntamente AEMET (indicativo 9262) y el Gobierno de Navarra. Posee datos mensuales de precipitación desde 1880, aunque tiene algunos períodos sin medidas. Desde 1953 hasta octubre de 2016, el registro pluviométrico de esa estación es casi completo, salvo por 4 meses. El completado de estos datos se puede realizar mediante correlación simple con los datos de la estación de AEMET con indicativo 9263D (Noáin o Pamplona-Aeropuerto), que tiene datos mensuales desde 1975, y presenta valores con una fuerte correlación con la estación 9262 (Figura 14).

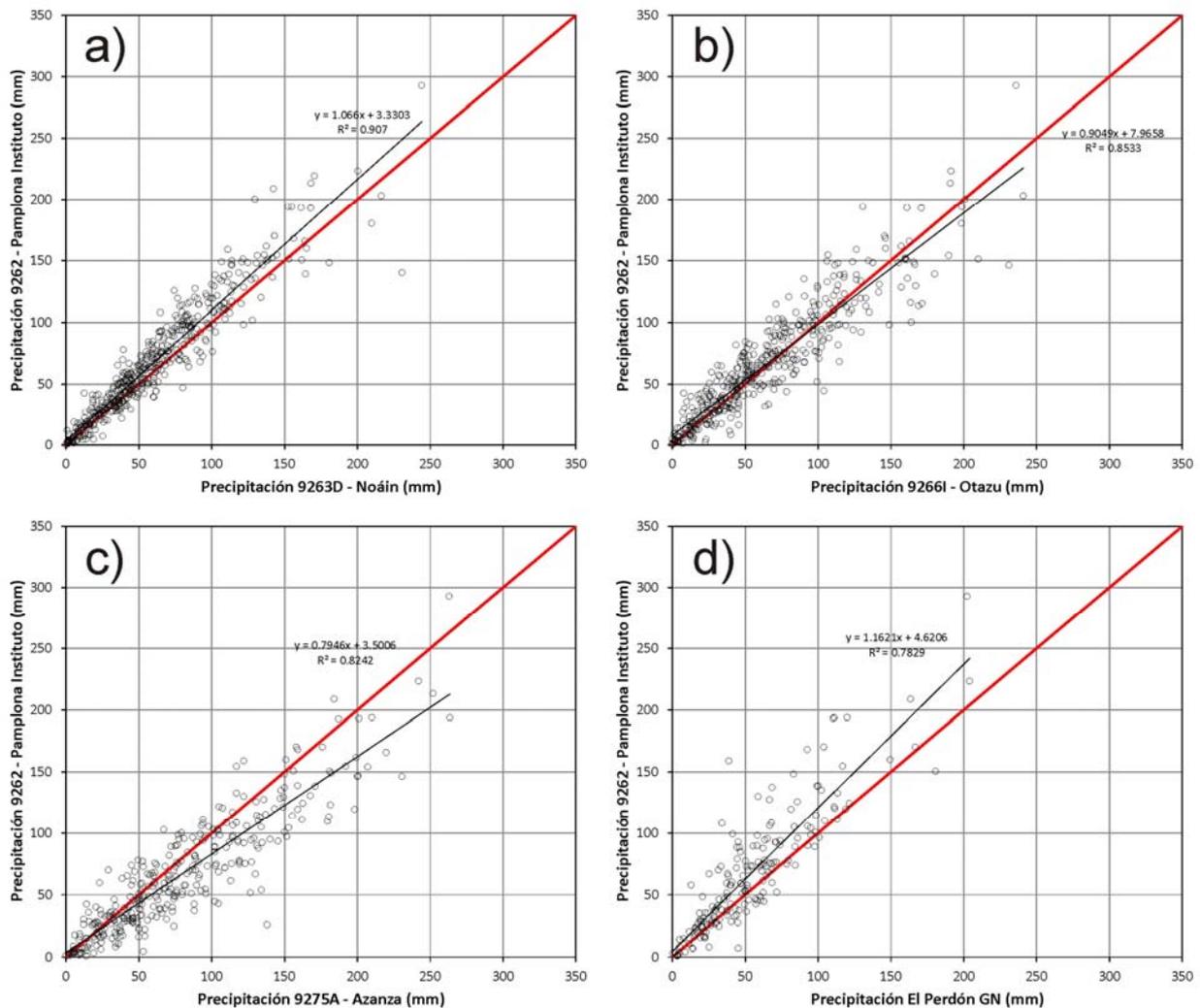


Figura 14. Comparación de los valores de precipitación acumulada mensual en la estación de Pamplona-Instituto con a) Noáin, b) Otazu, c) Azanza y d) El Perdón.

Utilizando, pues, como referencia la estación de Pamplona-Instituto, se puede establecer la distribución espacial de la precipitación en la mayor parte de la zona de estudio, salvo en la propia Sierra de Alaiz, donde las estaciones meteorológicas cercanas, como las de Monreal (9262O y 9262P), tienen cotas inferiores a 600 m s.n.m., mientras que las cumbres sobrepasan holgadamente los 1100 m s.n.m.

En la figura 14 se han correlacionado los datos mensuales de precipitación sin completar en la estación 9262 (Pamplona-Instituto) con las de las estaciones 9263D (Noáin), 9266I (Otazu), 9275A (Azanza) y El Perdón, ésta del Gobierno de Navarra. La comparación de estaciones muestra que las situadas en las zonas más bajas (Otazu, Noáin y Pamplona-Instituto), cuyas cotas oscilan entre 387 a 456 m s.n.m., tienen una elevada correlación y semejanza en los valores

mensuales de precipitación. Por lo que se refiere a la pluviometría de la estación 9275A (Azanza), situada en el valle de Goñi, entre los diapiros de Salinas de Oro y Ollo, a una cota de 828 m s.n.m., presenta también una alta correlación con la estación de Pamplona-Instituto, pero la precipitación de esta última tiende a ser ligeramente más reducida que la de aquella (Figura 15).

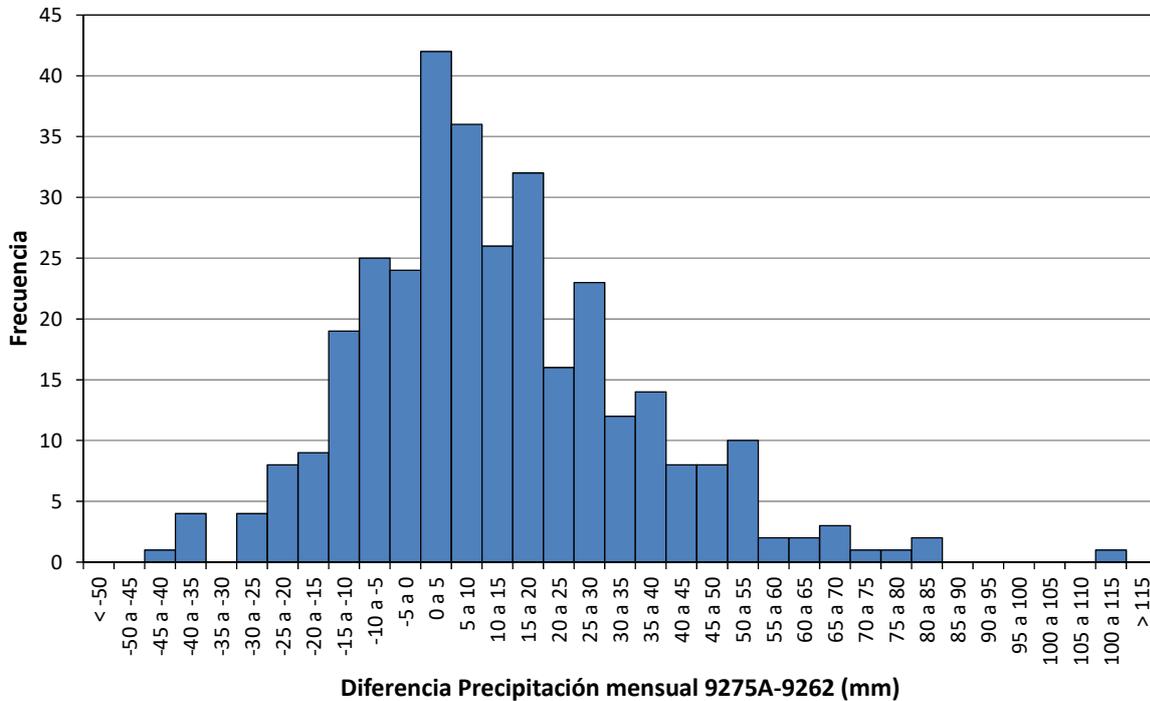


Figura 15. Distribución de las diferencias de precipitación mensual entre las estaciones 9275A (Azanza) y 9262 (Pamplona-Instituto).

Por lo que se refiere a la precipitación de la estación de El Perdón, situada a 1024 m s.n.m., presenta una correlación aceptable con la de Pamplona- Instituto, pero tiende a ser menor que la de esta última. La explicación de este fenómeno por el que la precipitación desciende con la cota en la Sierra del Perdón queda fuera del alcance del presente trabajo.

El amplio período con datos de precipitación en la estación Pamplona-Instituto permite analizar la variación de la misma desde enero de 1953 hasta la actualidad (se ha dispuesto de datos hasta octubre de 2016), abarcando pues todo el período en el que se han producido evacuación de salmueras en el subsuelo. Además, la buena correlación entre las precipitaciones de esta estación con las de la mayoría de estaciones de la zona de estudio permite ampliar las conclusiones a casi todo el sector.

El análisis de la variación temporal de la precipitación se ha realizado utilizando la desviación acumulada de la precipitación respecto al valor de la media mensual en la estación de Pamplona-

Instituto, cuya media de precipitación mensual es de 67.7 mm. La desviación acumulada de la precipitación respecto a la media se puede definir como

$$d_i = d_{i-1} + p_i - \bar{p}, \text{ para } i > 1; d_1 = p_1 - \bar{p}$$

donde d_i es la desviación acumulada respecto a la media mensual en el mes i , p_i es la precipitación total en el mes i y \bar{p} es la precipitación media mensual.

Esta variable tendrá una tendencia ascendente cuando existan varios meses consecutivos con precipitación superior a la media, y descendente cuando sea al contrario. La elección del valor mensual permite también observar si existe un efecto estacional de las precipitaciones en la estación.

En la Figura 16 se han representado las desviaciones acumuladas de la precipitación en la estación Pamplona-Instituto respecto a la media de precipitación mensual, y también las precipitaciones mensuales.

En el período del que se han dispuesto datos, 1953 a 2016, se pueden diferenciar 4 períodos, de tendencia diferente, dos húmedos y dos secos. El primero, desde el comienzo de la serie hasta 1960 se trataría de un período extremadamente seco. El segundo, húmedo, llegaría hasta 1985. El tercero, seco, acabaría en 2012, mientras que el último, muy húmedo en sus comienzos, alcanzaría el final de la serie. Ninguno de esos períodos es homogéneo, y dentro de los períodos húmedos se encuentran años muy húmedos y otros muy secos. Es destacable, sin embargo, que hay amplios períodos en los que se producen precipitaciones cercanas a la media durante varios años consecutivos, como ocurre entre 1981 y 1985, y entre 2002 y 2010.

En cuanto a la temperatura, de la que dependen algunos valores que se han medido expresamente en el presente estudio, como las desviaciones isotópicas de los isótopos estables del agua, en la Figura 17 se han comparado los datos de temperatura media mensual de la estación de Pamplona-Instituto, la más completa, con los de la estación de Noáin, en la Cuenca de Pamplona, y con la de Azanza, en el Valle de Goñi, en las proximidades de la Sierra del Sarbil.

La figura muestra la total semejanza entre las temperaturas de las estaciones de Pamplona y Noáin, mientras que en la zona montañosa occidental la estación de Azanza presenta una temperatura media mensual inferior de unos 2 °C, prácticamente constante, y que representa un gradiente térmico altitudinal de -0.53 °C/100 m.

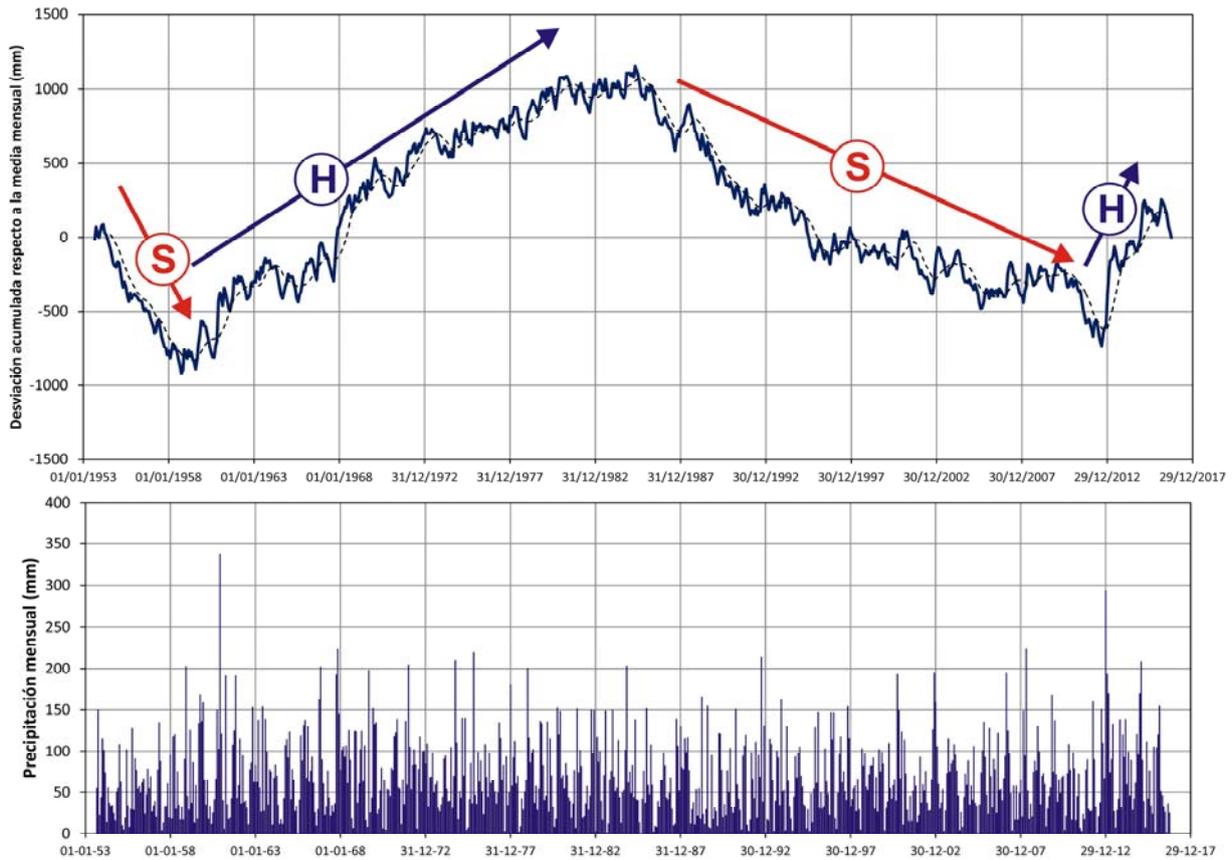


Figura 16. Precipitaciones mensuales completadas en la estación 9262 de AEMET (Pamplona-Instituto) y desviaciones acumuladas de las mismas respecto a la media mensual para el período 1953-2016. Nota: En línea discontinua, media móvil (período 12) de las desviaciones acumuladas.

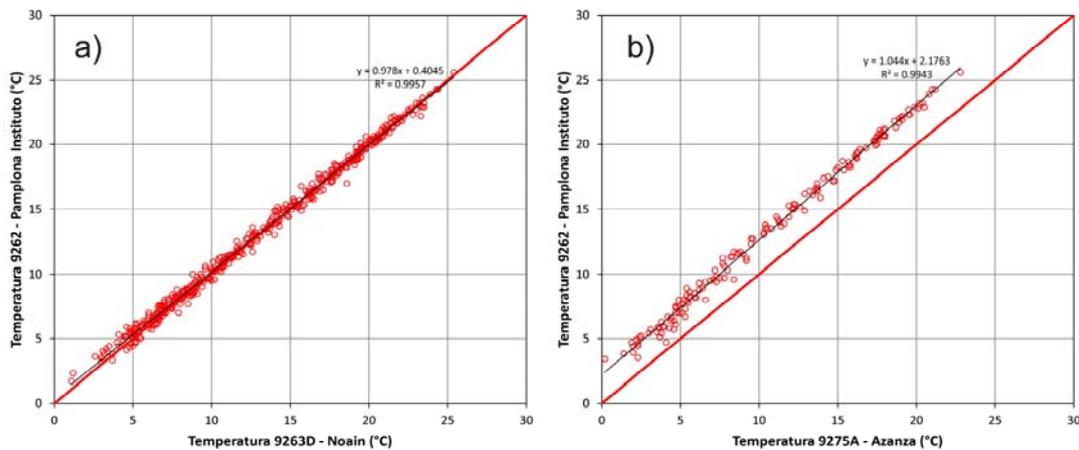


Figura 17. Comparación de los valores de temperatura media mensual en la estación de Pamplona-Instituto con a) Noáin y b) Azanza.

2.1.4.2. Datos foronómicos

En la zona de estudio existen varias estaciones de aforo y del Sistema Automático de Información Hidrológica, pertenecientes a redes de la CHE y del GN, coordinadas entre sí. Su distribución geográfica y su denominación aparecen en la Figura 18. La codificación de la estación con números pertenece a la CHE, mientras la que comienzan con el código AN pertenecen al GN.

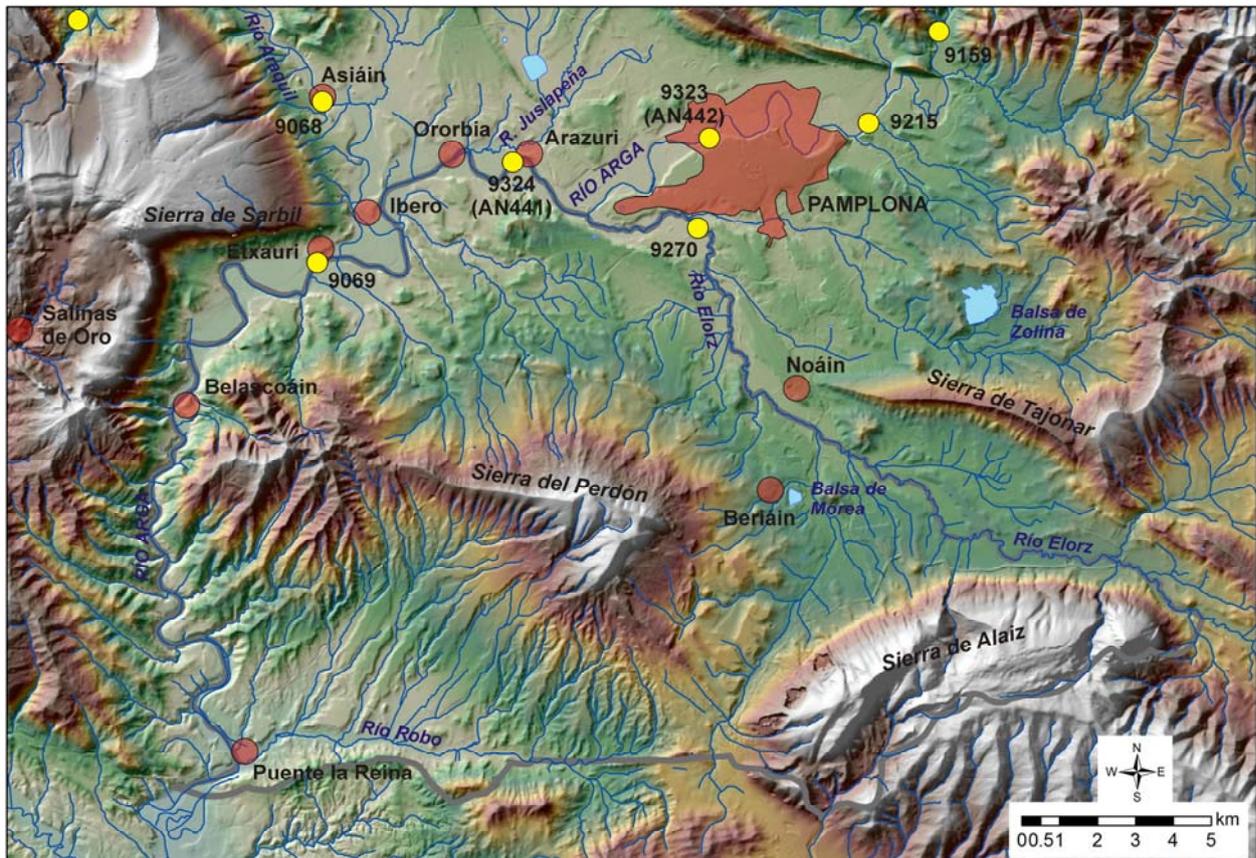


Figura 18. Situación de las estaciones de aforo pertenecientes a las redes de la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE) y del Gobierno de Navarra (GN).

Cabe mencionar que todas las estaciones de aforo se encuentran enclavadas en una superficie relativamente reducida, y en un tramo del río Arga también pequeño (Pamplona y Etxauri) a efectos de la problemática planteada en el presente estudio, quedando sin controlar el tramo del Arga entre Etxauri y Puentes de la Reina, punto final del sistema.

El punto de aforo más completo y antiguo es la estación 9069 (Arga en Etxauri), aunque presenta amplios períodos sin información, pero sin huecos importantes en períodos recientes. Las estaciones del GN son completas, aunque sus series son más cortas, comenzando la de la estación AN441 (Arga en Arazuri) en 2000.

En la Figura 19 (sup.) se han representado, desde 2000 hasta 2017, los valores de caudales medios mensuales en las estaciones más cercanas a los puntos visibles de descarga de la MASb de la Sierra de Aláiz, las estaciones AN441 (Arga en Arazuri), 9068 (Arakil en Asiáin) y 9069 (Arga en Etxauri). En la figura se observa que el caudal del Arakil es mayor que el del Arga en Arazuri, y es especialmente significativa en los años secos, quizá por el aporte de aguas subterráneas desde la MASb de la Sierra de Andía. La forma de los hidrogramas simplificados es muy semejante, respondiendo de igual manera a lo largo del tiempo.

El caudal en la estación 9069 estaría constituido esencialmente por la suma del de las estaciones 9068 y AN441, más las aportaciones de la depuradora de Pamplona, del río Juslapeña y de los manantiales de Ibero y Etxauri. Sin embargo, en la Figura 19 (inf.) se observa que este balance simple no muestra aportes adicionales de agua salvo en épocas de caudales máximos, probablemente por la incertidumbre asociada a la medida de caudales extremos.

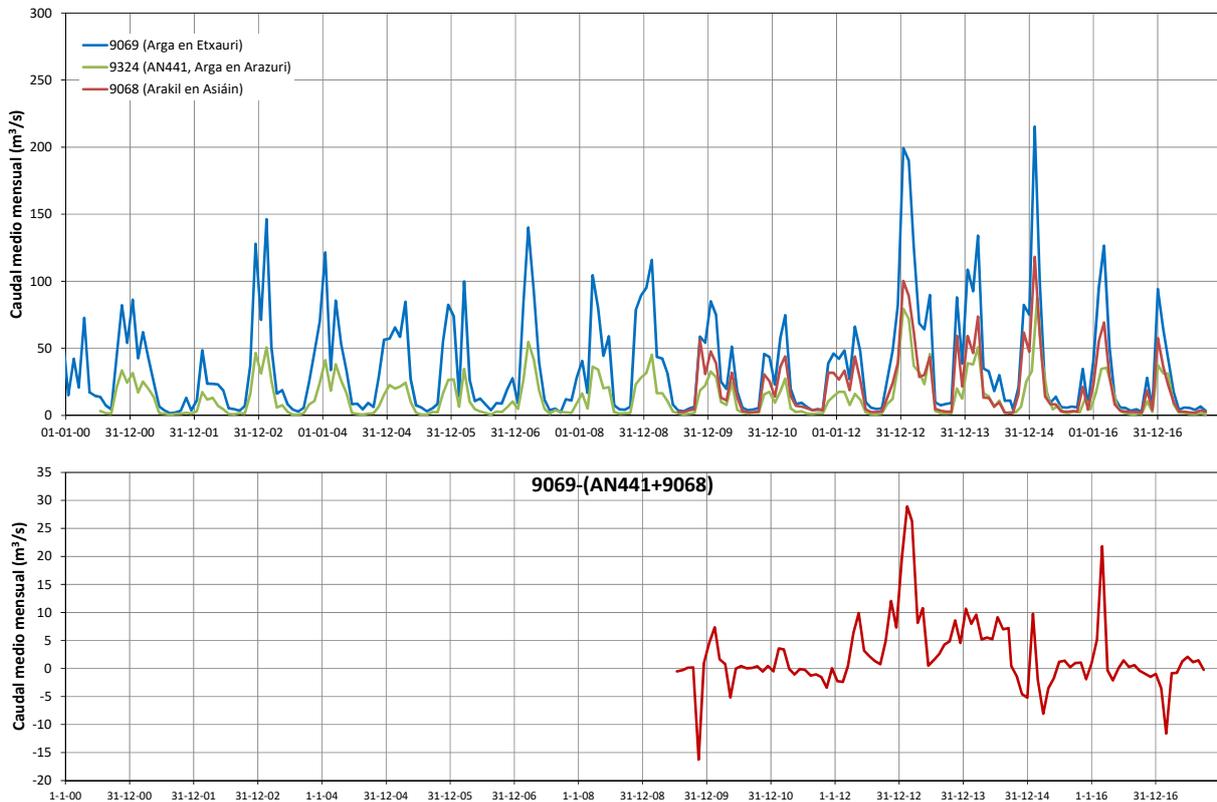


Figura 19. Sup.: Caudales medios mensuales en las estaciones 9068 (Río Arakil en Asiáin), 9324 (o AN441 según GN, Río Arga en Arazuri) y 9069 (Río Arga en Etxauri) desde 2000 a 2017. Inf.: Diferencia entre los caudales del Arga en Etxauri con la suma del Arga en Arazuri y el Arakil en Asiáin.

2.1.4.3. Datos piezométricos

En el informe del IGME (2004) se hace notoria la complejidad del análisis de la piezometría en la MASb de la Sierra de Alaiz por la escasez y dispersión numérica de los datos, así como por la incertidumbre de la posible asociación de los datos a acuíferos o niveles locales. La complejidad geológica y la profundidad de los niveles acuíferos en gran parte del sistema también dificultan la construcción de elementos de observación piezométrica.

En el presente estudio se ha encontrado escasa información piezométrica adicional. Sin embargo, después de 2004, la Confederación Hidrográfica del Ebro ha sistematizado las medidas de nivel en un sondeo próximo a la cantera de UNCONA, convirtiéndolo en el único punto de su red piezométrica en la MASb de la Sierra de Alaiz (Figura 20).

Por su parte, y aunque perteneciente a la MASb de la Sierra de Andía, el Gobierno de Navarra controla la piezometría de un sondeo situado entre los manantiales de Ibero y Etxauri, el sondeo Ibero P2 (Figura 20), del que se dispone de datos piezométricos desde la década de 1980.

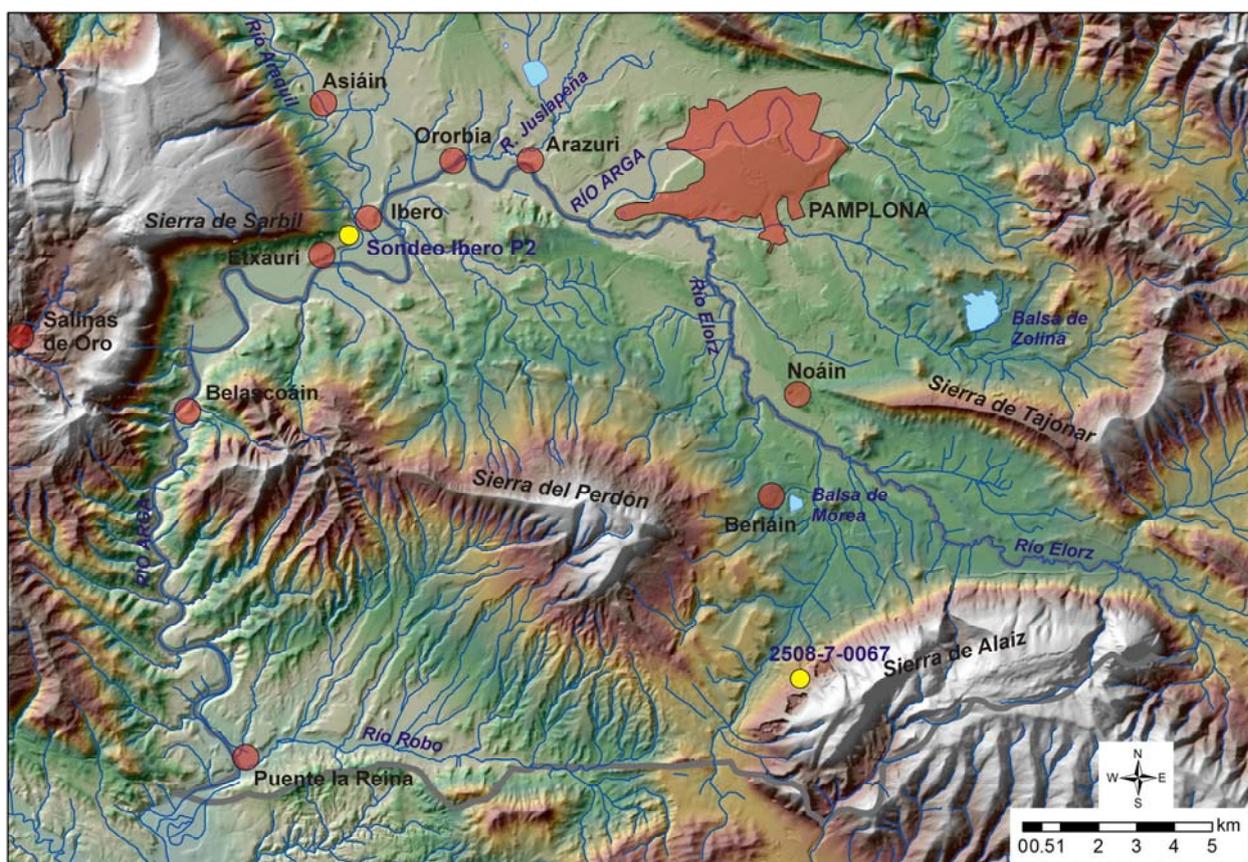


Figura 20. Situación de los puntos de control piezométrico de la Confederación Hidrográfica del Ebro (2508-7-0067) y del Gobierno de Navarra (Sondeo Ibero P2).

Aparentemente, entre esos dos puntos, situados en los extremos de la MASb de la Sierra de Alaiz, sólo están disponibles para control piezométrico los sondeos de evacuación de POSUSA. Sin embargo, los niveles medidos son escasos y su interpretación compleja, siendo además necesaria la corrección de nivel mediante la consideración de la densidad del agua para calcular el potencial hidráulico. En el presente informe se han considerado los datos del IGME (2004) y los tomados a lo largo del presente estudio en el sondeo S-6, asumiendo una densidad media del agua de 1.15 g/ml. Se han asumido, además, los criterios del IGME (2004) para el cálculo del potencial hidráulico, que es conservador, en el sentido de que considera la mínima columna posible de agua con densidad elevada.

En la Figura 21 se han representado los valores piezométricos de los puntos mencionados, junto con las desviaciones acumuladas de las precipitaciones, con el fin de visualizar la posible relación entre ambas variables.

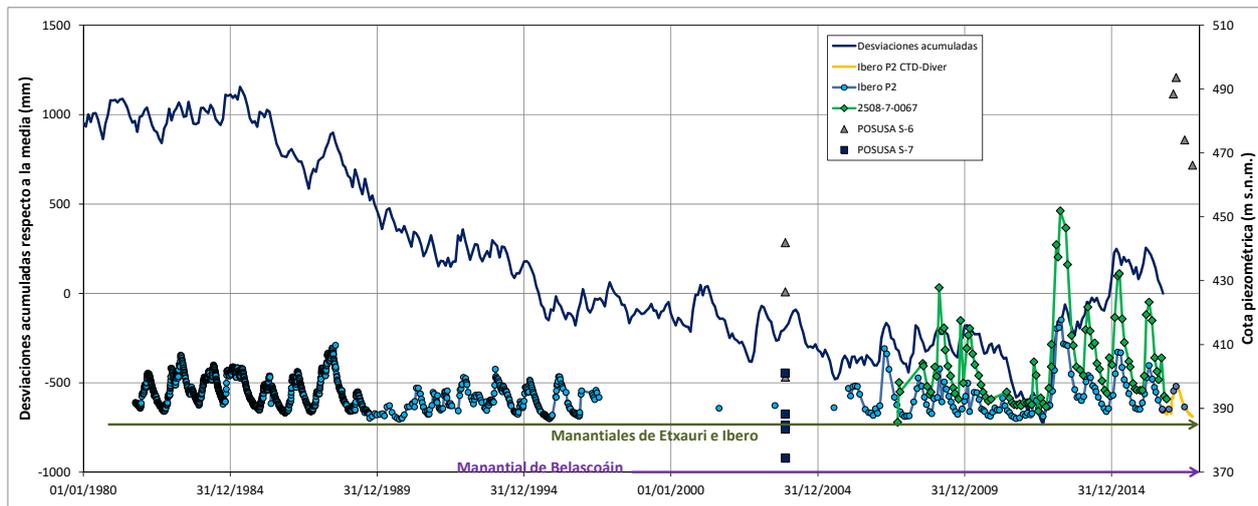


Figura 21. Cotas piezométricas de los puntos de las redes de la Confederación Hidrográfica del Ebro y del Gobierno de Navarra, y en los puntos de evacuación de salmueras de POSUSA, comparadas con las desviaciones acumuladas de precipitación respecto a la media mensual en la estación de Pamplona-Instituto.

Tanto el piezómetro 2508-7-0067, situado en las laderas de la Sierra de Alaiz, como el sondeo Ibero P2, situado junto a la Sierra del Sarbil, muestran un claro reflejo a las precipitaciones, con fuertes ascensos, casi inmediatos, en los meses de grandes lluvias. Las oscilaciones son mayores en el piezómetro de la Sierra de Alaiz (hasta 60 m), como corresponde a una teórica zona de recarga. Este piezómetro tiene una gran zona no saturada (unos 100 m), por lo que la rápida respuesta a las precipitaciones se puede interpretar como debida a la existencia zonas de elevada permeabilidad en el medio, fracturas o conductos kársticos. También es significativa la oscilación del nivel del agua en el sondeo P2 (hasta 30 m) a pesar de ser teóricamente una zona de descarga.



Por otro lado, cabe destacar, como ya se vio en IGME (2004) el escaso gradiente existente entre la posible zona de recarga y la zona de descarga, especialmente en los meses secos. Además, las cotas de los niveles bajos en ambos piezómetros, sobre todo en los períodos secos, son muy similares a las de los manantiales de Ibero y Etxauri, mostrando todo ello que el flujo en el sistema debiera ser lento o que la transmisividad es muy elevada para mantener ese gradiente tan reducido. Sin embargo, dada la complejidad geológica de la zona, con la existencia de la fosa del Perdón, es posible que exista una desconexión entre los flujos que cortan ambos piezómetros. El manantial de Belascoáin, situado a menor cota, origina un gradiente que permite considerar un flujo hacia ese sector. La inexistencia de puntos de observación piezométrica en la zona no permite corroborar dicho flujo desde la Sierra de Alaiz a ese sector del Arga.

Por otro lado, el potencial hidráulico obtenido para los puntos de evacuación muestra, en general, valores mucho más elevados que los de los dos piezómetros de control, originando un domo piezométrico que influiría de modo considerable en el flujo regional. Las oscilaciones son grandes por el efecto de la elevada transmisión del medio en esa zona, lo que permite una rápida recarga de las salmueras. Se puede destacar también, que los potenciales hidráulicos calculados en 2017 en estos puntos de evacuación son considerablemente más altos que los calculados en 2003 por el IGME (2004), hasta de 60 m.

2.1.5. Evolución de la calidad del agua de los ríos Arga, Arakil y Elorz

Los ríos de la zona, especialmente el Arga, son los colectores que recogen las aguas afectadas por procesos naturales y por las actividades antrópicas. La localización en la zona de estudio de la ciudad de Pamplona y sus polígonos industriales ha originado la existencia de una nutrida red de control de la calidad de las aguas superficiales, con recogida puntual de muestras para análisis físicoquímico y biológico, y de la existencia de varias estaciones pertenecientes al Sistema Automático de Información de Calidad de las Aguas (SAICA) en las que se miden algunos parámetros indicativos de la calidad general. Por lo que se refiere a los puntos de muestreo físicoquímico de las aguas superficiales, en la Figura 22 aparece la situación de esa red de control. Al igual que muchos de los aspectos relacionados por el medio hídrico, esta red está gestionada coordinadamente por la CHE y el GN, aunque hay puntos de control en los que solo toma muestras este último organismo. En la Tabla 4 se muestran las codificaciones y denominaciones de los puntos de esa red de control de calidad de las aguas superficiales. También se ha incluido, a título de posible comparación, el punto de muestreo del IGME (2004) en el río Robo.

Se ha podido disponer de datos desde 1971 en algunos puntos de control (Elorz en Pamplona, Arakil en Asiáin, y Arga en Ororbía, Belascoáin aguas arriba del balneario, y Puente la Reina), aunque la periodicidad del muestreo ha sido variable. Del Arga en Etxauri, que es un punto clave de control del sistema, sólo se ha podido disponer de datos desde 2002.

De toda esa gran cantidad de datos, se ha realizado un somero análisis de la calidad de la información, mediante la realización de balances iónicos con el programa INAQUAS (Moreno y De la Losa, 2008). Con él se eliminaron aquellos análisis cuyos errores en el balance iónico

superaban el 10%. Ello ha supuesto, en algunos casos, como en Belascoáin, el prescindir del 30 de los análisis.

La representación de los análisis considerados como válidos en un diagrama de Piper (Figura 23) muestra la gran variabilidad en las características químicas de los ríos en los distintos puntos de muestreos, evidenciando una clara evolución espacial influenciada por la concentración de sales de los afluentes del Arga, el Elorz que aporta sales, y del Arakil, que puede diluir o aportar iones en función de la época del año y de la composición del Arga.

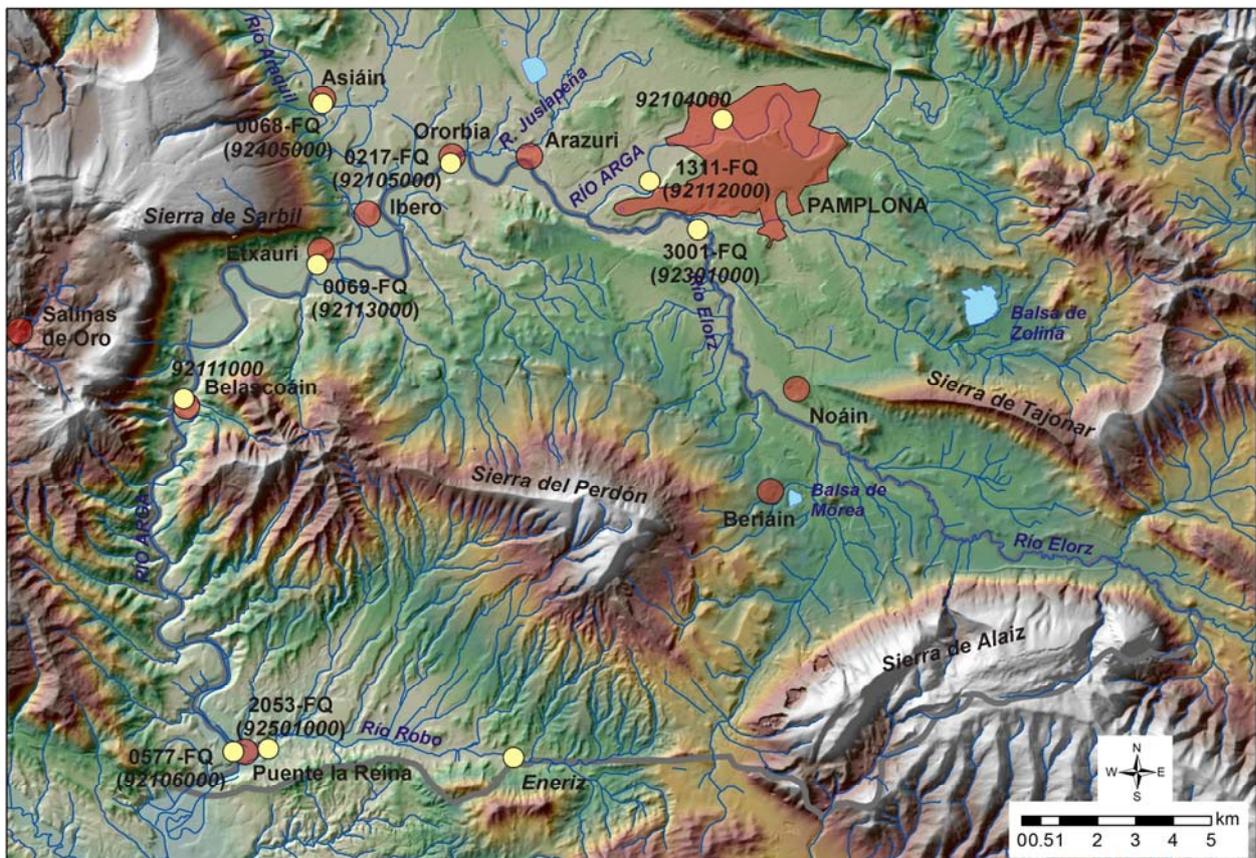


Figura 22. Situación de los puntos de control en los que se ha recopilado información hidroquímica.



Código CHE	Código GN	Denominación
	92104000	Río Arga en Pamplona (Cuatro Vientos)
1311-FQ	92112000	Río Arga en Pamplona (Landaben)
0217-FQ	92105000	Río Arga en Ororbia
0069-FQ	92113000	Río Arga en Etxauri
	92111000	Río Arga en Belascoáin
0577-FQ	92106000	Río Arga en Puente la Reina
3001-FQ	92301000	Río Elorz en Pamplona
0068-FQ	92405000	Río Arakil en Asiáin
2053-FQ	92501000	Río Robo en Obanos
		Río Robo en Eneriz (IGME, 2004)

Tabla 4. Denominación de los puntos de aguas superficiales en los que se ha recopilado información hidroquímica.

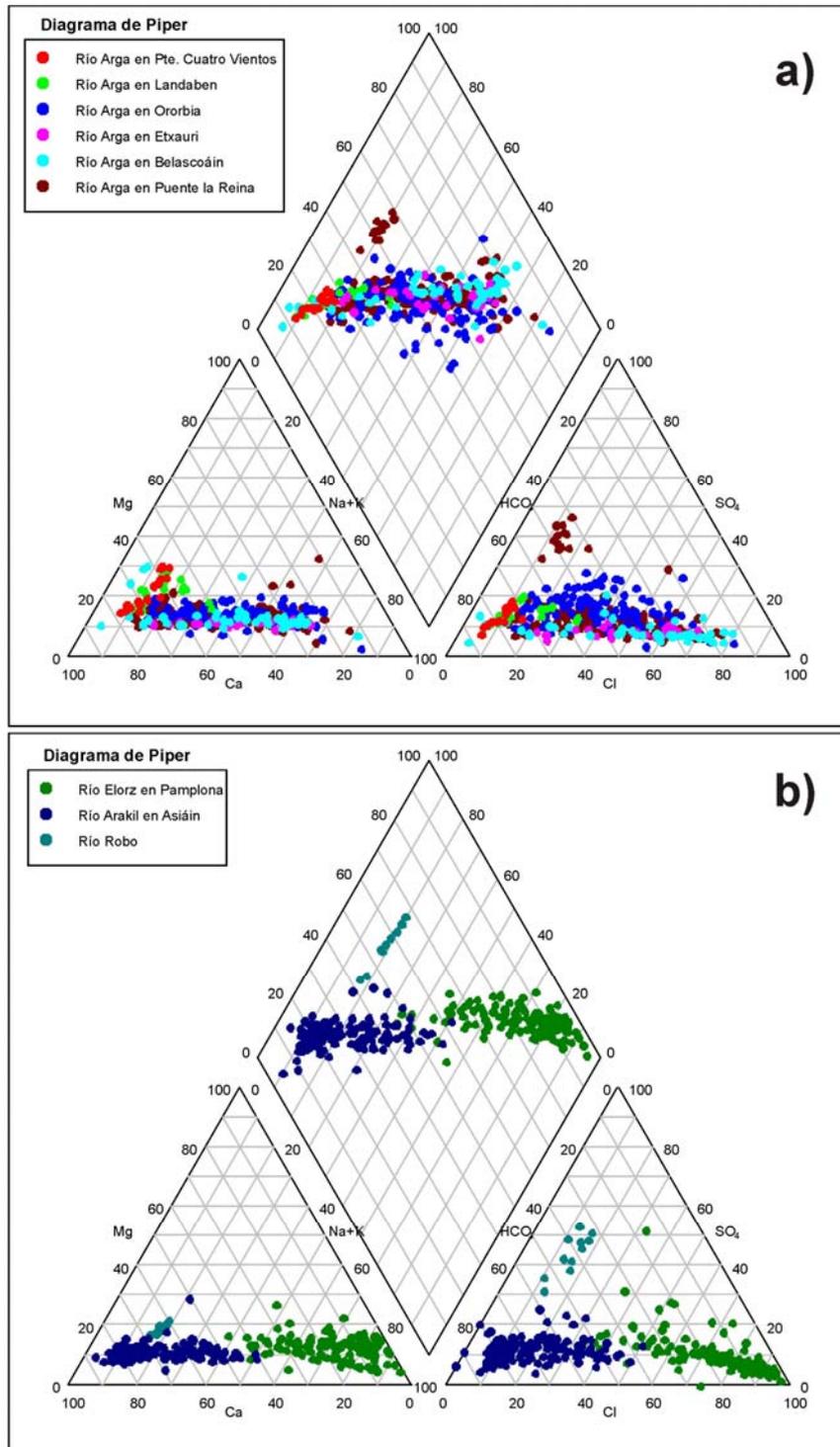


Figura 23. Diagramas de Piper de las muestras de aguas superficiales seleccionadas. a) Río Arga. b) Afluentes (Elorz, Arakil y Robo).



El río Arga al entrar en la zona de estudio (en Puente de Cuatro Vientos y Polígono Landaben) presenta una composición fundamentalmente bicarbonatada cálcica, con poca salinidad. La entrada primero del río Elorz, con aguas de fuerte componente clorada sódica, aunque caudal relativamente escaso, y después del Arakil, con aguas bicarbonatadas cálcicas y, mayor caudal que el Arga, originan que las aguas del Arga en el tramo de interés para el estudio, se muevan, con fuertes oscilaciones, entre las aguas bicarbonatadas cálcicas y cloruradas sódicas con bajos porcentajes relativos de sulfatos y magnesio. La aportación de los manantiales del Arga y otras posibles salidas originan que las aguas sean progresivamente más salinas en el tramo final de la zona de estudio, con excepciones puntuales, dependientes, muchas veces de los caudales circulantes.

En la Figura 24 se han representado las concentraciones de cloruros en algunos de los puntos de muestreo del río Arga y del Arakil en Asiáin, junto con los caudales medios mensuales de las estaciones de aforo más cercanas. De todos ellos, el Arakil en Asiáin es el que presenta las concentraciones más bajas, sobrepasando pocas veces los 100 mg/l. El Arga en Ororbia sí sobrepasa frecuentemente esa concentración, y, en alguna ocasión, incluso los 600 mg/l consecuencia de las aportaciones puntuales del río Elorz.

Los puntos de control de Etxauri, Belascoáin y Puente la Reina tienen las concentraciones de cloruros más elevadas de las representadas, sobrepasando muy frecuentemente los 200 mg/l. También presentan fuertes oscilaciones, desde 50 mg/l hasta más de 400 mg/l en pocos meses. De todos ellos, el Arga en Belascoáin presenta en múltiples ocasiones, las concentraciones más altas de cloruros.

En todos los puntos representados en la Figura 24 se observa un incremento estacional considerable de la salinidad en los meses de menor caudal, especialmente en los situados en el Arga aguas abajo de su confluencia con el Arakil, lo que indicaría la importancia relativa de la aportación salina de aguas subterráneas en ese tramo.

Finalmente, el río Robo (Figura 23) presenta aguas sulfatadas cálcicas, totalmente diferentes a las del resto del sistema. Su escasa importancia para los objetivos del presente estudio origina que no se las considerará en los próximos apartados.

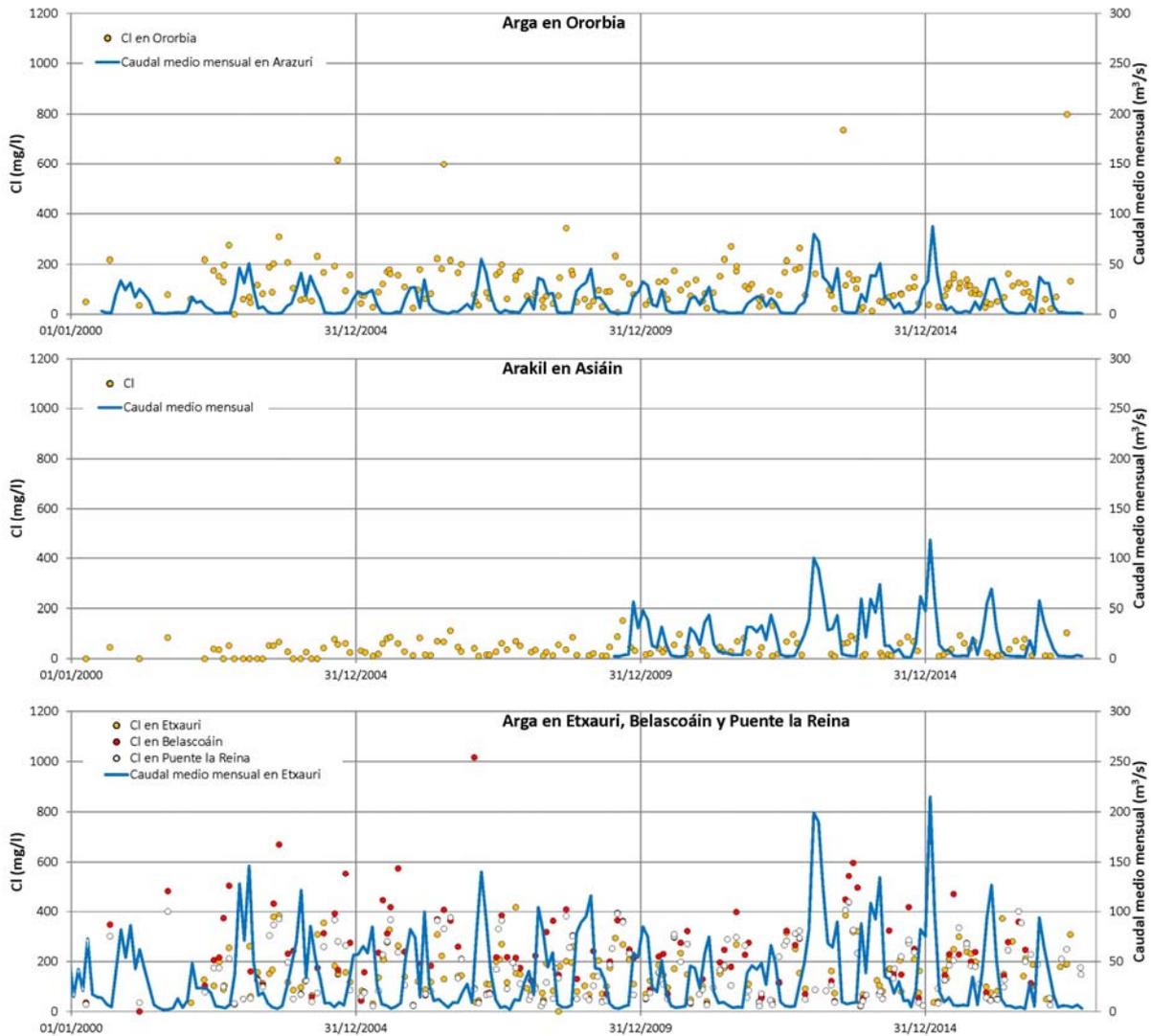


Figura 24. Variación temporal del contenido en cloruro de las aguas subterráneas en algunos puntos de la zona de estudio comparado con los caudales medio mensuales en las estaciones de aforo más próximas.

2.1.6. Evolución de la calidad de las aguas subterráneas

La información sobre calidad de las aguas de las MASb de las Sierras de Alaiz y Andía se ha obtenido principalmente de las redes de vigilancia que mantiene operativas la CHE y la Comunidad Foral de Navarra. Los puntos que forman parte de estas redes y su ubicación se muestran en la Tabla 5 y la Figura 25. El informe IGME (2004) incluye análisis propios de las características hidroquímicas de algunos de estos puntos, principalmente de los manantiales del río Arga (Ibero, Etxuri y Belascoáin).

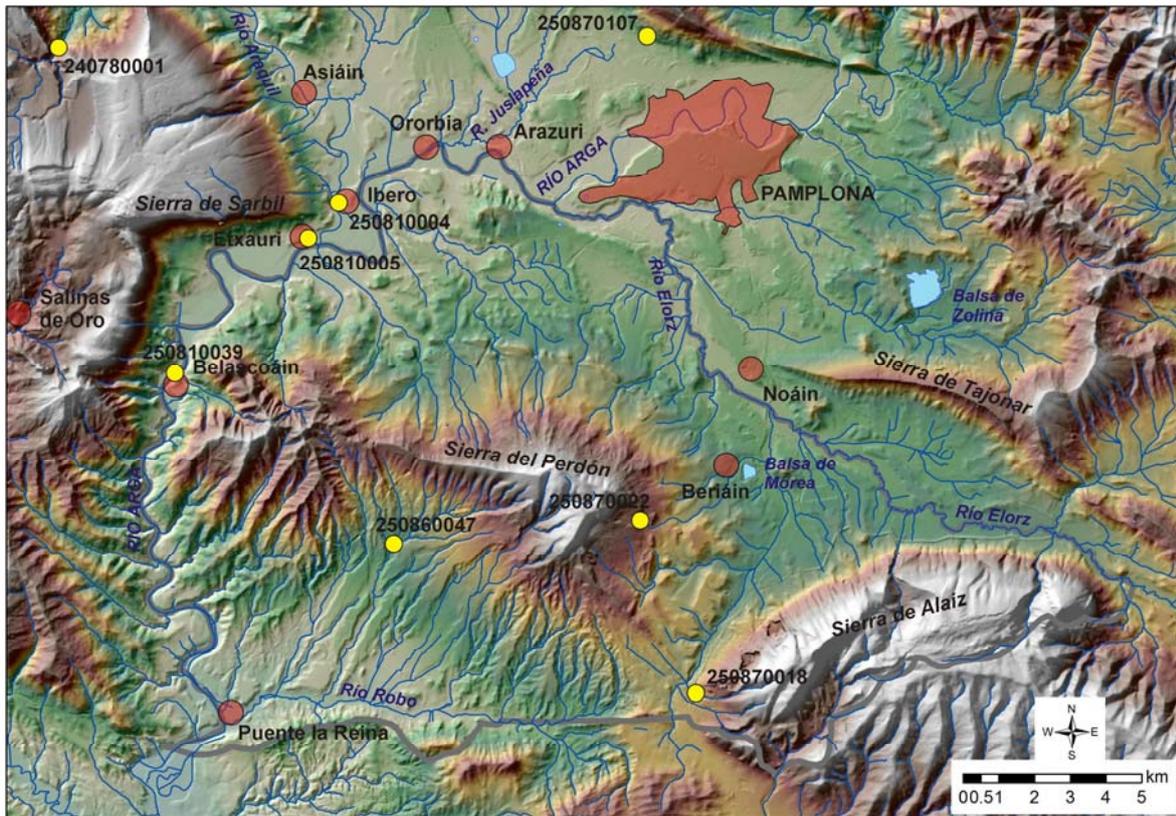


Figura 25. Situación de los puntos de la red básica de control de la calidad de las aguas subterráneas de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la MASb de la Sierra de Alaiz y su entorno.

IPA	Denominación	Observaciones
240780001	Nacedero de Arteta	
250770107	El Lavadero	
250810004	Manantial de Ibero-Uberba	Control adicional por GN
	Manantial de Etxauri-Pozo	
250810005	Grande	Control adicional por GN
250810039	Baños de Belascoáin	Control adicional por GN
250860047	Manantial de Uterga	
	Bco. Urroniz-Campanas.	
250870018	UNCONA	
250870022	Manantial de Subiza	

Tabla 5. Denominación de los puntos de la red de control de aguas subterráneas de la Confederación Hidrográfica del Ebro en la zona de estudio.

En este capítulo se describen, por un lado, las características físico-químicas de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno a partir de puntos distintos a los manantiales salinizados: manantiales alejados de la zona de salinización próxima al cauce del río Arga y los escasos pozos y sondeos que captan este acuífero, y por otro, la evolución de la calidad de las aguas de los manantiales salinizados.

2.1.6.1. Aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno: Nacedero de Arteta, Pozo UNCONA, Sondeo S-3 y Sondeo Ibero P2

La definición de las características físico-químicas de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno se ha realizado a partir de los análisis disponibles de puntos distintos a los manantiales salinizados. Esto tiene el interés de conocer la composición de las aguas representativas del acuífero carbonatado antes de esa afección, desde la que postular los procesos activos en el acuífero antes y después del posible impacto antrópico.

Los puntos identificados son: a) el nacedero de Arteta, ubicado en una zona de descarga al N de la MASb de la Sierra de Andía, con aguas poco mineralizadas bicarbonatadas-cálcicas; b) el Sondeo Ibero P2, uno de los puntos de control piezométrico del Gobierno de Navarra, cuya ubicación se muestra en la Figura 20, con aguas representativas de la zona de descarga de la MASb de la Sierra de Andía hacia el río Arga, más mineralizadas por Cl y Na procedentes de la interacción con los materiales subyacentes del Triásico; c) el Sondeo S-3, uno de los sondeos de evacuación en el que se obtuvo una muestra de agua dulce en 1999 durante las pruebas de admisión en el sondeo S-6; y d) el pozo UNCONA, ubicado en la zona de recarga de la MASb de la Sierra de Alaiz, al N de esta Sierra, con aguas también algo más mineralizadas que las de Arteta, en este caso por aporte de SO₄, Ca y Mg procedentes de los materiales de esa zona.

La representación de la composición química de estos puntos se muestra en el diagrama de Piper de la Figura 26. El análisis químico del agua que se muestreó en el sondeo S-3 no es completo, ya que no se dispone de valores para las concentraciones de sulfato y de potasio, por lo que no se ha representado en esta figura. No obstante, las aguas extraídas en dicho sondeo S-3 tienen una composición similar a la de los manantiales del Arga, en el resto de constituyentes mayoritarios (NaCl: 373 ppm, CaCO₃: 212 ppm, y MgCO₃: 172 ppm).

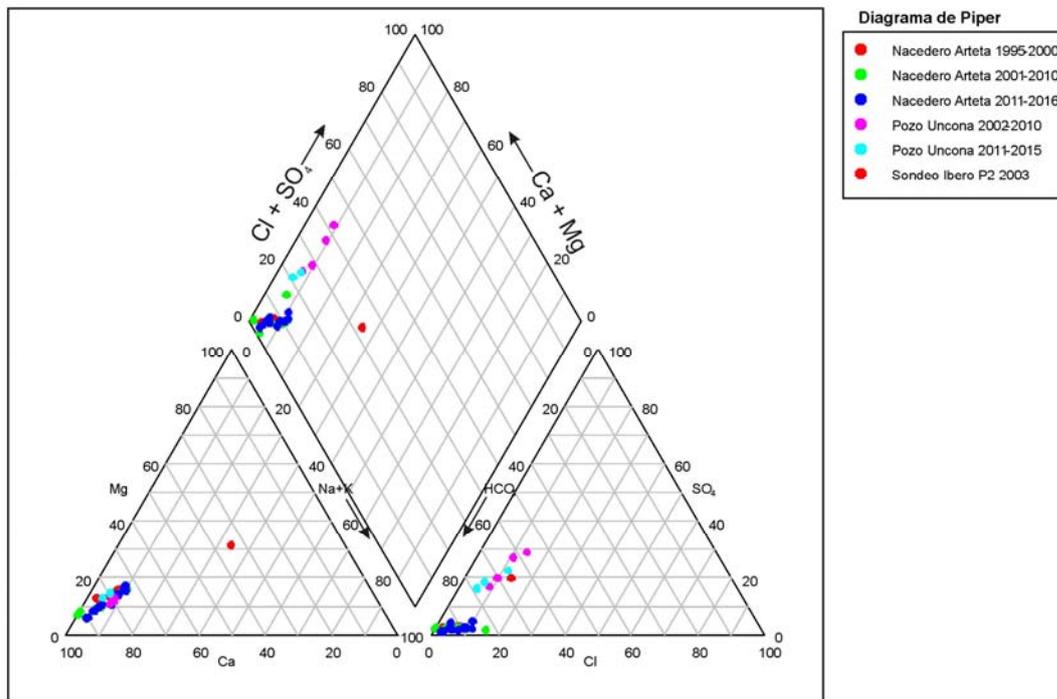


Figura 26. Diagrama de Piper de las aguas subterráneas del Eoceno en el Nacedero de Arteta, el pozo UNCONA y el sondeo Ibero P2 diferenciadas por décadas.

2.1.6.2. Manantiales del Arga

Las series de los datos recopilados a partir de las redes de calidad de la CHE y el GN sobre los manantiales salinizados del río Arga abarcan desde mediados de la década de 1970 hasta la actualidad, con un registro temporal variable, que en algunos períodos llega a ser mensual. Además de estas series hay datos de análisis aislados de estos mismos puntos en 1905 para el manantial de Belascoáin (IGME, 2004), y en 1966 para los tres manantiales (IGME, 1966). IGME (2004) presenta resultados de los análisis hidroquímicos e isotópicos de las aguas de estos manantiales que realizó a partir de un muestreo en 2003.

La Figura 27 muestra el aumento de la conductividad eléctrica (CE) en los tres manantiales, más acentuada en el manantial de Ibero, y la evolución de la relación Na/K en este manantial desde los años 1970 hasta la actualidad, junto al volumen acumulado de salmuera industrial evacuada al acuífero desde 1960.

La evolución de la CE es, en general, paralela al aumento de la concentración de aniones y cationes mayoritarios para los tres manantiales, si bien existen apreciables diferencias entre la evolución de cationes y aniones que, como se verá más adelante, son significativas a la hora de interpretar los datos e identificar el origen de las sales.

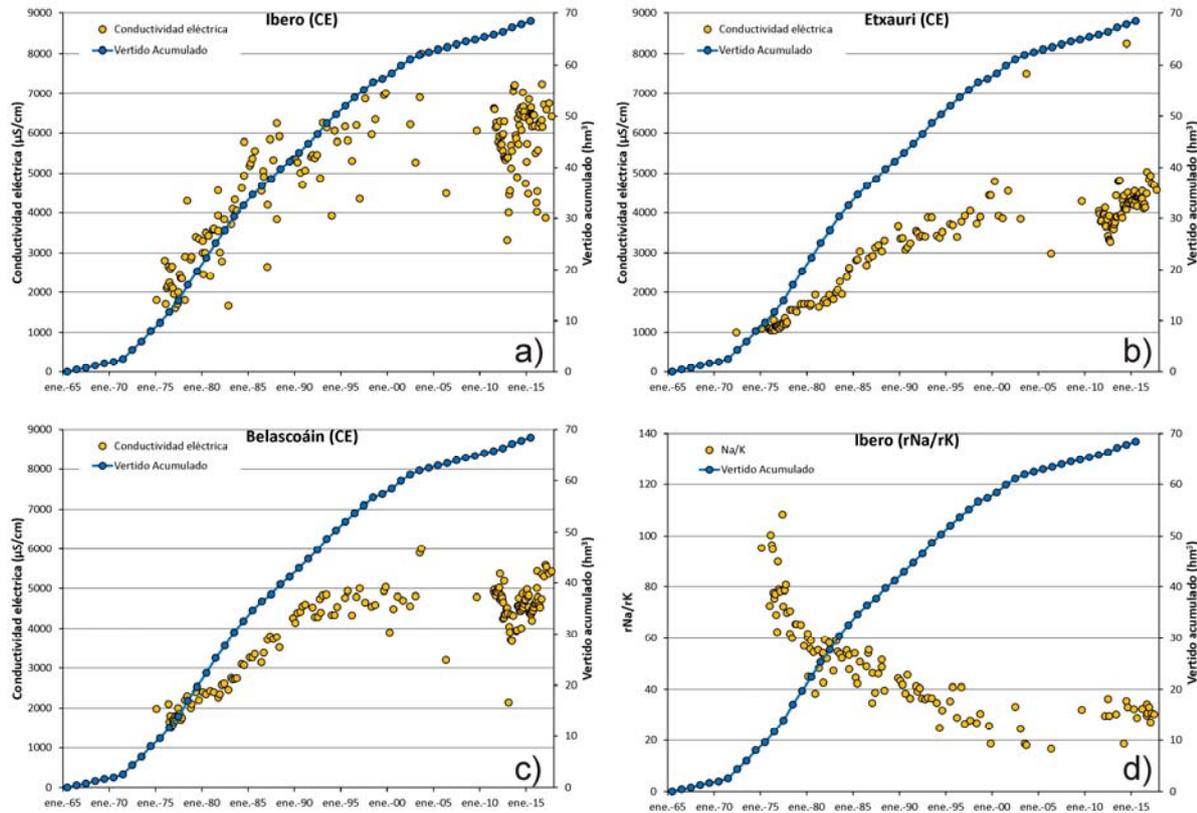


Figura 27. Variación temporal de algunos indicadores de composición química en los principales manantiales del entorno del río Arga. a) Conductividad eléctrica en el manantial de Ibero. b) Conductividad eléctrica en el manantial de Etxauri. c) Conductividad eléctrica del manantial de Belascoáin. d) Relación Na/K en el manantial de Ibero.

La Figura 28 presenta los diagramas de Piper para los análisis de los tres manantiales agrupados por fechas. En ella se observa una evolución similar para los tres manantiales, con una fase inicial hacia un punto alejado del que correspondería la mezcla conservativa del agua del acuífero y las salmueras, sean la de evacuación o del Triásico, y un giro posterior hacia mayores contenidos de NaCl. Esta evolución de la calidad química de los manantiales hizo proponer a IGME (2004) que “...la evacuación de salmuera en los sondeos ha debido movilizar una salmuera preexistente y distinta a la que procede de la fábrica, que estaría rellenando los poros de la formación geológica almacén en profundidad, y que sería heterogénea en el espacio y el tiempo.”

En el presente trabajo, se presenta otra interpretación de estos datos en la que cobra relevancia la consideración de procesos de interacción agua-roca. Como se ha visto en la Figura 27, la relación Na/K desciende en forma exponencial con el tiempo en el manantial de Ibero, lo que se explica mediante la evolución de ambos cationes en la Figura 29. En esta Figura 29 se aprecia un déficit de Na frente a Cl en los tres manantiales, que suele interpretarse como el resultado de procesos de cambio catiónico, sobre todo en el estudio de acuíferos afectados por intrusión marina, y un

aumento exponencial de K frente a Cl en los manantiales de Ibero y Etxauri que, en este caso, es reflejo de las elevadas concentraciones de K que muestran las aguas de las salmueras originadas a partir de los yacimientos de potasas del Eoceno.

Las concentraciones de Ca y Mg aumentan con la concentración de Cl, siguiendo pautas distintas desde las concentraciones más bajas hasta concentraciones de Cl de unos 40 meq/l, y a partir de esos valores hasta los máximos, de unos 70 meq/l. Como se verá en el apartado 3.4 de Modelación hidrogeoquímica, ello es debido a dos procesos distintos, uno primero de mayor interacción agua-roca y otro segundo de mayor mezcla.

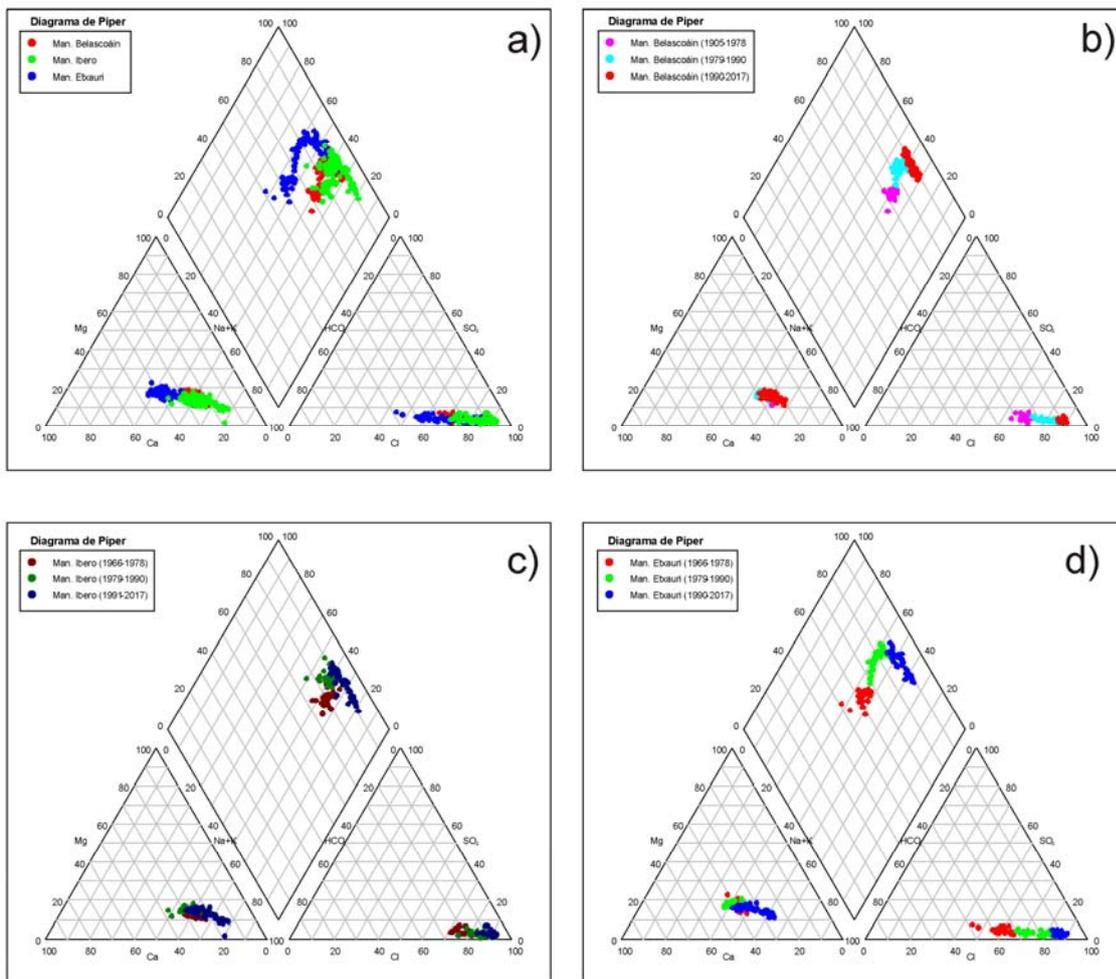


Figura 28. Diagramas de Piper de la composición química recopilada de las aguas de los principales manantiales del Arga, diferenciadas por manantiales y por fechas. a) Todos los análisis diferenciados por manantiales. b) Manantial de los Baños de Belascoáin. c) Manantial de Ibero (Uberba). d) Manantial de Etxauri (Pozo Grande)

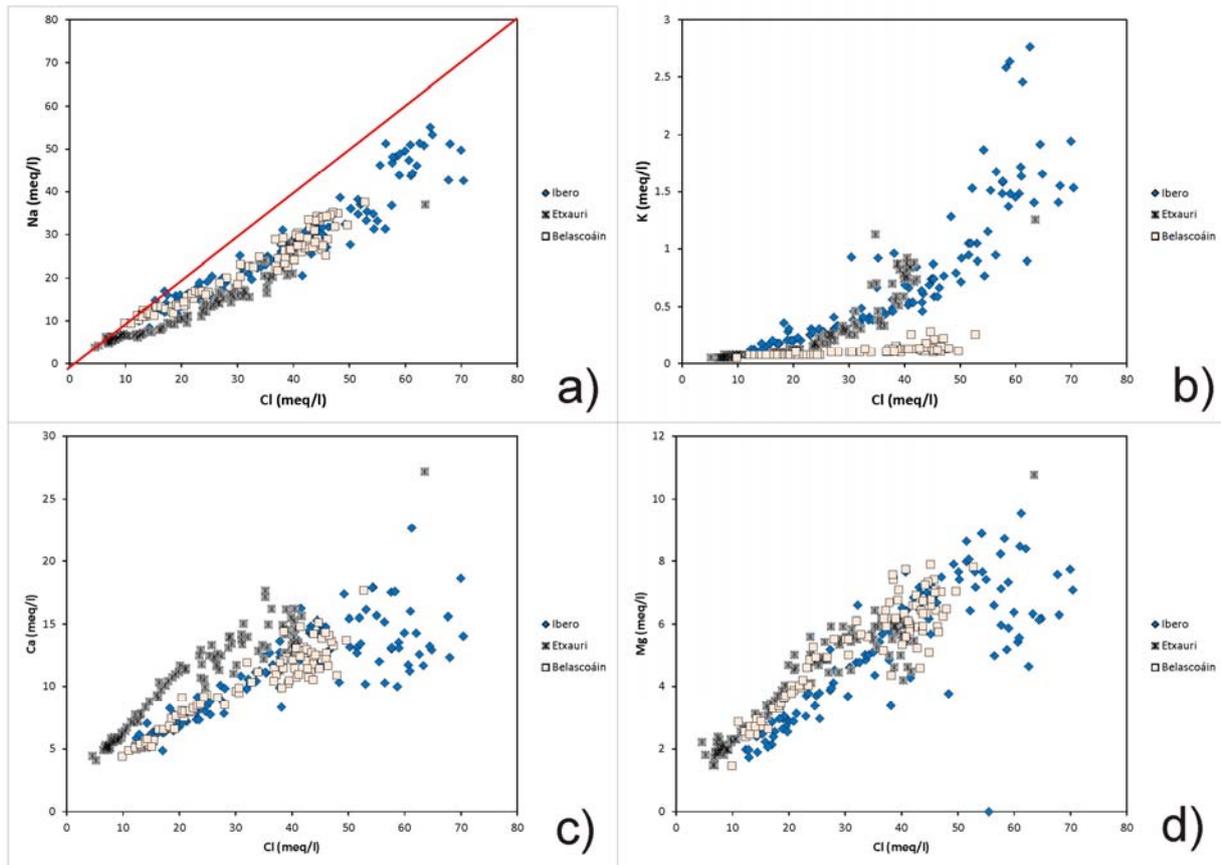


Figura 29. Comparación de valores de la concentración de cationes mayoritarios con la de Cl en los análisis químicos de las aguas de los manantiales de Ibero, Etxauri y Belascoáin.

El primer efecto se observa también claramente en la Figura 30, en la que se muestra la evolución en el tiempo de las relaciones Cl/Na y Ca/Na , y donde se aprecia que el cambio catiónico que origina un aumento inicial de ambas relaciones se frena y deja de ser activo aparentemente después de un tiempo, lo que podría ser reflejo de la saturación de la capacidad de cambio del medio geológico por su contacto con la salmuera evacuada o de su llegada directa en mayor proporción a los manantiales. Esta figura muestra también un desfase de más de una década en la correlación entre el aumento de la precipitación y de salinidad en los primeros años, y una correlación casi directa entre ambos parámetros en los últimos años, lo que se explicaría también por esta llegada más directa de la salmuera industrial a los manantiales.

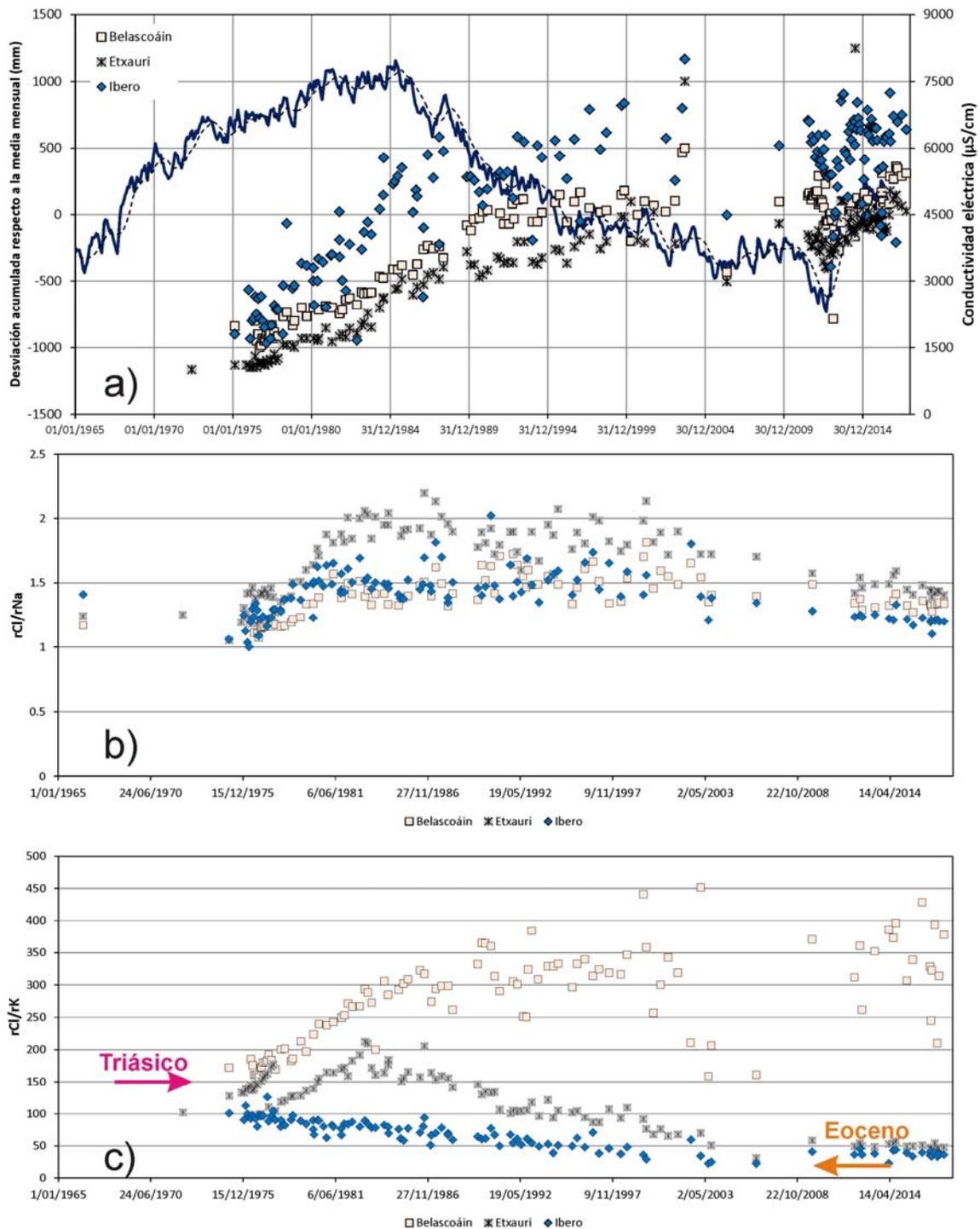


Figura 30. Variación temporal de la conductividad eléctrica y algunas relaciones iónicas en las aguas de los manantiales de Ibero, Etxauri y Belascoáin. a) Comparación de la evolución de la conductividad eléctrica con las desviaciones acumuladas de las precipitaciones en la estación meteorológica de Pamplona. b) Evolución temporal de la relación Cl/Na. c) Evolución temporal de la evolución Ca/Na.

La Figura 31 muestra una relativa constancia de las concentraciones de bicarbonato frente a las de cloruros, mientras que los sulfatos muestran un ligero aumento.

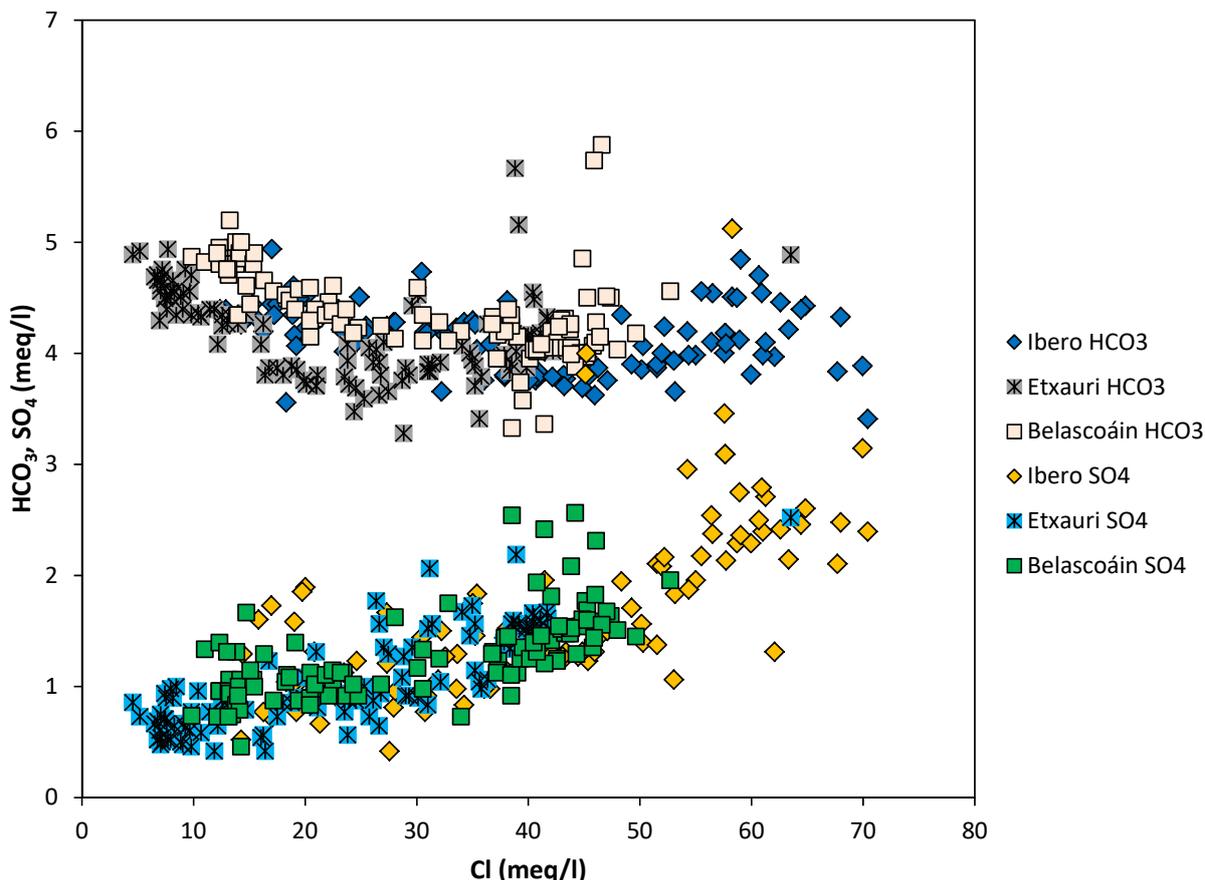


Figura 31. Comparación de valores de la concentración de bicarbonato y sulfato con la de Cl en los análisis químicos de las aguas de los manantiales de Ibero, Etxauri y Belascoáin.

2.2. Campañas de muestreo y métodos de análisis químicos e isotópicos

Se ha realizado un total de 6 campañas de campo en las que se han llevado a cabo los siguientes trabajos:

- Medida de valores de conductividad eléctrica, alcalinidad, temperatura, pH y Eh en diversos puntos de la cuenca del río Arga y del río Salado, y en las instalaciones de POSUSA. Los resultados se recogen en el Anexo 1.
- Recogida de muestras en varios de los puntos anteriores para el análisis químico de constituyentes mayoritarios y minoritarios del agua. Los resultados se recogen en los



Anexos 2 y 3. Se realizaron, además, otras medidas como densidad, residuo seco, espectrometría gamma y concentración de potasio por absorción atómica en muestras seleccionadas.

- Toma de muestras para análisis de la desviación isotópica de los isótopos estables de la molécula del agua.
- Toma de muestras para determinaciones que informan sobre el flujo y tiempo de residencia del agua en los acuíferos, como tritio (Anexo 4), carbono-14 y carbono-13.

En la tabla 6 aparece la relación de puntos en los que se han realizado los trabajos mencionados más arriba, y en la Figura 32 su situación espacial.

También se han llevado a cabo medidas de niveles en el sondeo profundo de evacuación S-6 (analizadas en el apartado 2.1.4.3) y se han instalado dispositivos de registro continuo de nivel del agua, temperatura y conductividad eléctrica en la estación SAICA del río Elorz en Pamplona y en el sondeo Ibero P2 a unos 45 m de profundidad. En este sondeo se han realizado, además, varios perfiles de temperatura y conductividad eléctrica con la profundidad en todo el recorrido accesible.

Número	Localización	XETRS89	YETRS89	YWGS84	XWGS84	Solo valores de campo
1	Río Elorz. Estación SAICA	609026	4739200	42.7977	-1.6667	
2	Río Arga. Polígono Landaben	607787	4740380	42.8084	-1.6817	SÍ
3	Río Arga. Arazuri	604121	4740997	42.8143	-1.7263	SÍ
4	Río Juslapeña. Arazuri	604400	4741420	42.8182	-1.7229	SÍ
5	Río Arga. Ororbia	602338	4740950	42.8143	-1.7482	
6	Río Arakil. Asiain	599117	4742645	42.8300	-1.7871	
7	Río Arga. Ibero	600662	4739680	42.8031	-1.7689	
8	Vertido sondeo 7	610780	4733500	42.7460	-1.6465	
9	Surgencia Escombrera	610860	4733510	42.7461	-1.6455	
10	Drenaje Arrubias	610990	4733670	42.7475	-1.6439	
11	Drenaje Fábrica	610990	4733670	42.7475	-1.6439	
12	Drenaje Meseta	611196	4733560	42.7465	-1.6414	
13	Drenaje Media Ladera	611705	4733750	42.7481	-1.6351	
14	Balsa Morea	611800	4733170	42.7429	-1.6341	
15	Río Arakil. Ibero	600377	4739280	42.7995	-1.7725	
16	Manantial de Ibero	600064	4739620	42.8026	-1.7763	
17	Río Arga. Etxauri	598966	4738295	42.7909	-1.7898	
18	Manantial de Etxauri	599233	4738620	42.7937	-1.7866	
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	599256	4738440	42.7921	-1.7864	SÍ
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	595558	4734830	42.7600	-1.8322	SÍ
21	Manantial de Belascoáin	595449	4734760	42.7594	-1.8335	
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	595161	4734340	42.7557	-1.8371	SÍ
23	Sondeo Ibero P2	599777	4739200	42.7989	-1.7799	
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	591859	4737330	42.7830	-1.8770	
25	Río Salado. Puente de Viguria	588606	4734150	42.7548	-1.9172	SÍ
26	Río Arga. Puente la Reina	596781	4724970	42.6711	-1.8189	
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	594956	4730150	42.7180	-1.8403	SÍ
28	Río Elorz. Beriáin	611952	4733920	42.7496	-1.6321	
29	Río Sadar. Pamplona	609153	4739583	42.8010	-1.6651	SÍ
30	Barranco de Lastarreca	600450	4737656	42.7849	-1.7719	SÍ
31	Regata de Eriete	602284	4737460	42.7828	-1.7493	SÍ
32	Regata Recaldeberri	603318	4738050	42.7880	-1.7366	SÍ
33	Regata de Idiazábal	603844	4738185	42.7891	-1.7303	SÍ
34	Barranco Iturbi. Salinas de Pamplona	610561	4734672	42.7566	-1.6489	SÍ
35	Sondeo 6	612448	4733820	42.7486	-1.6260	SÍ

Tabla 6. Puntos de muestreo y medida del presente estudio.

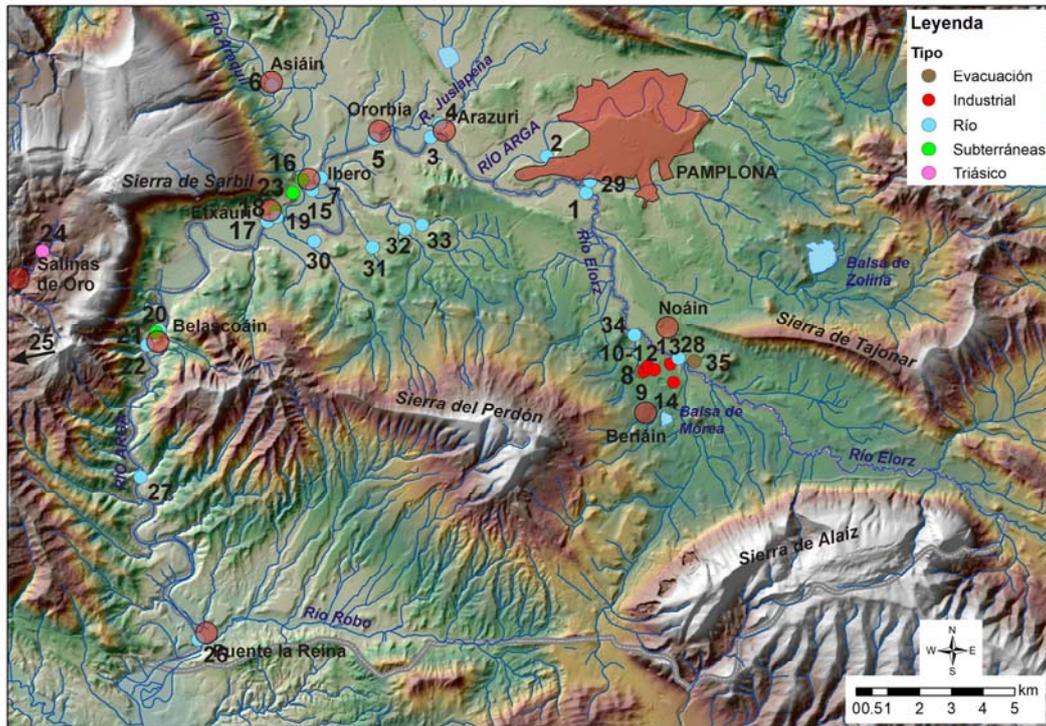


Figura 32. Situación de los puntos de control del medio hídrico utilizados en el presente estudio.

2.2.1. Medidas de conductividad de campo en ríos y manantiales

Las Figuras 33 a 38 muestran el esquema del sistema del Argá en la zona de estudio con los valores de la conductividad eléctrica en los puntos de medida para las seis campañas de muestreo realizadas durante el año hidrológico 2016-2017.

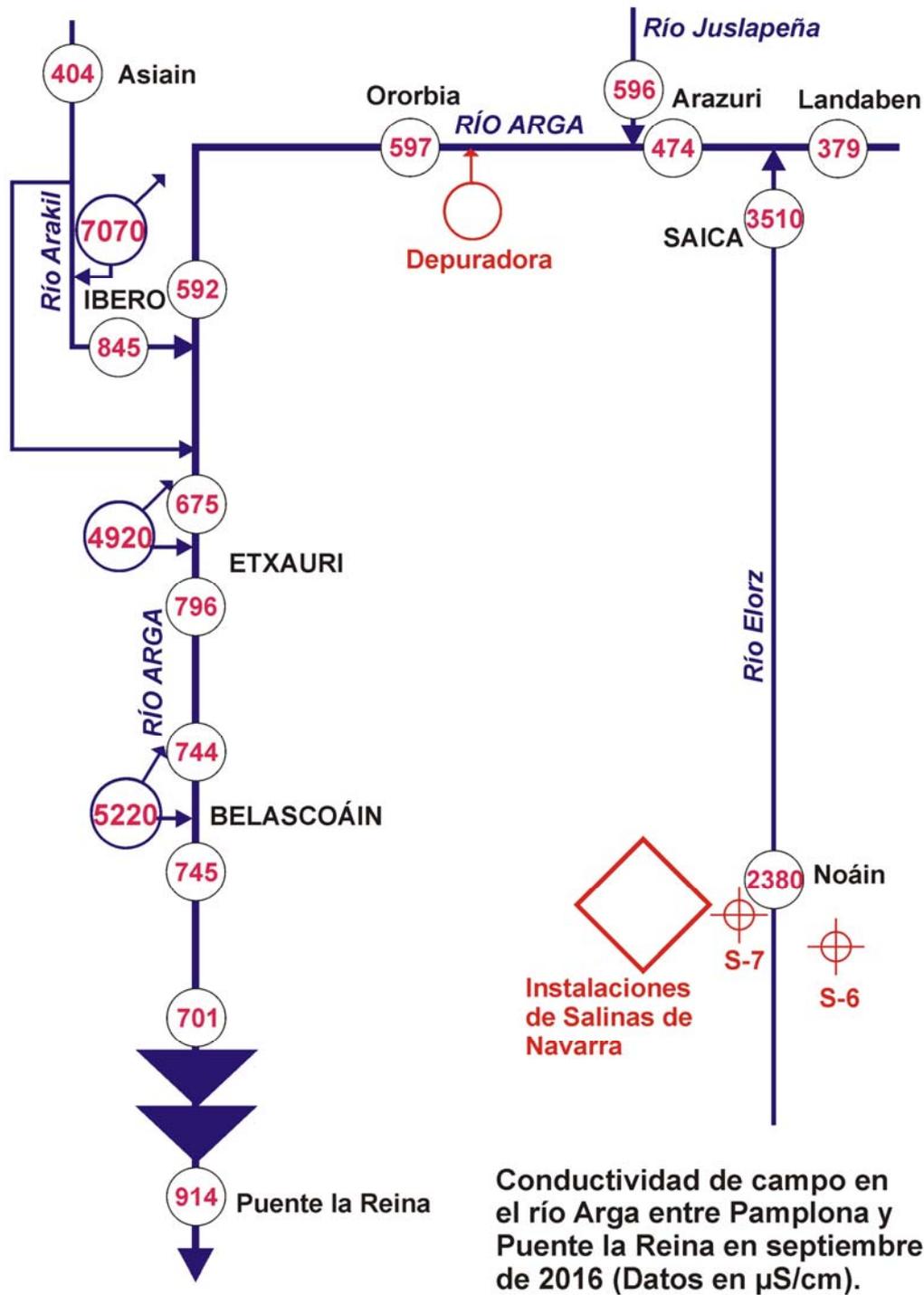


Figura 33. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de septiembre de 2016.

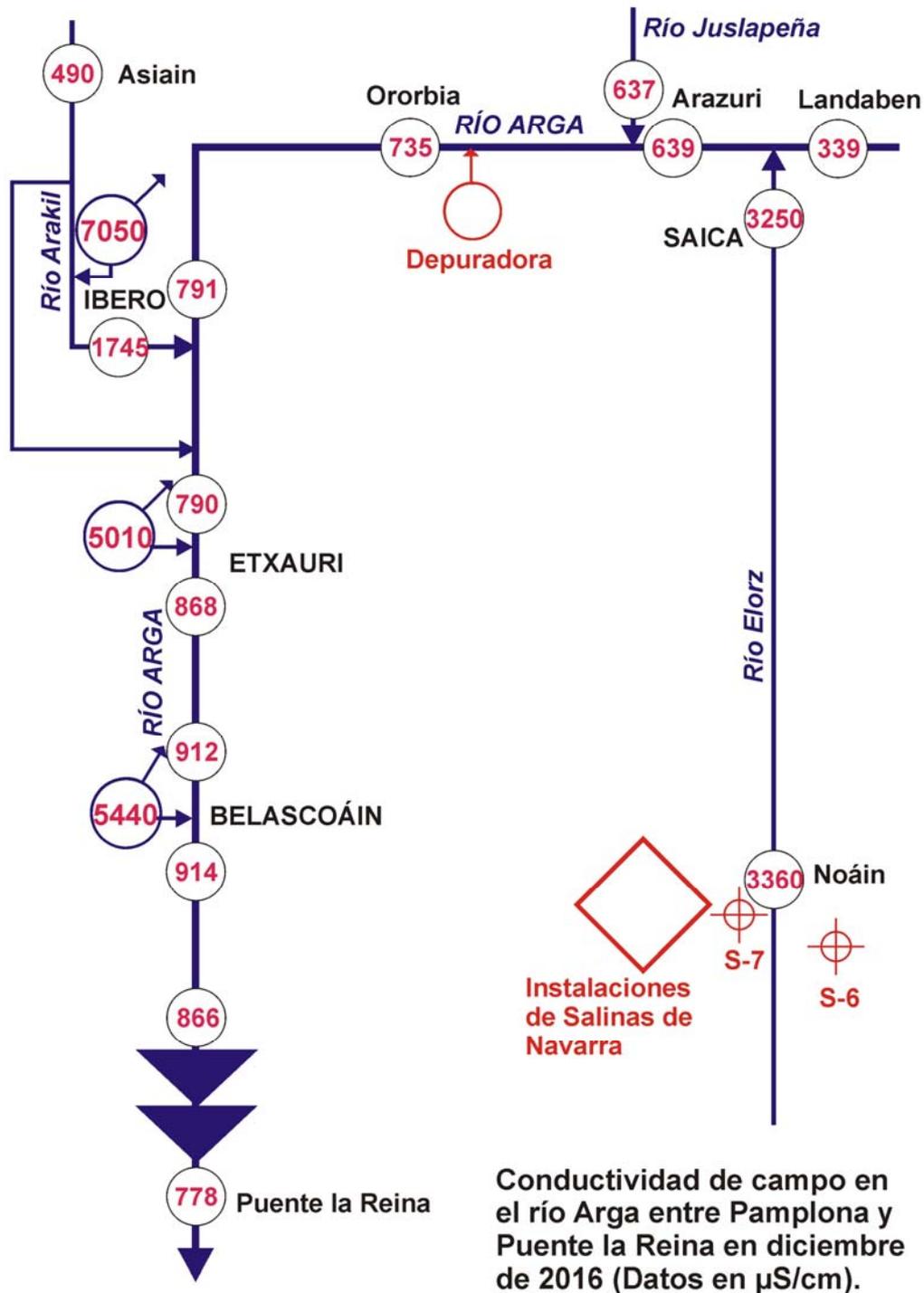


Figura 34. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de diciembre de 2016.

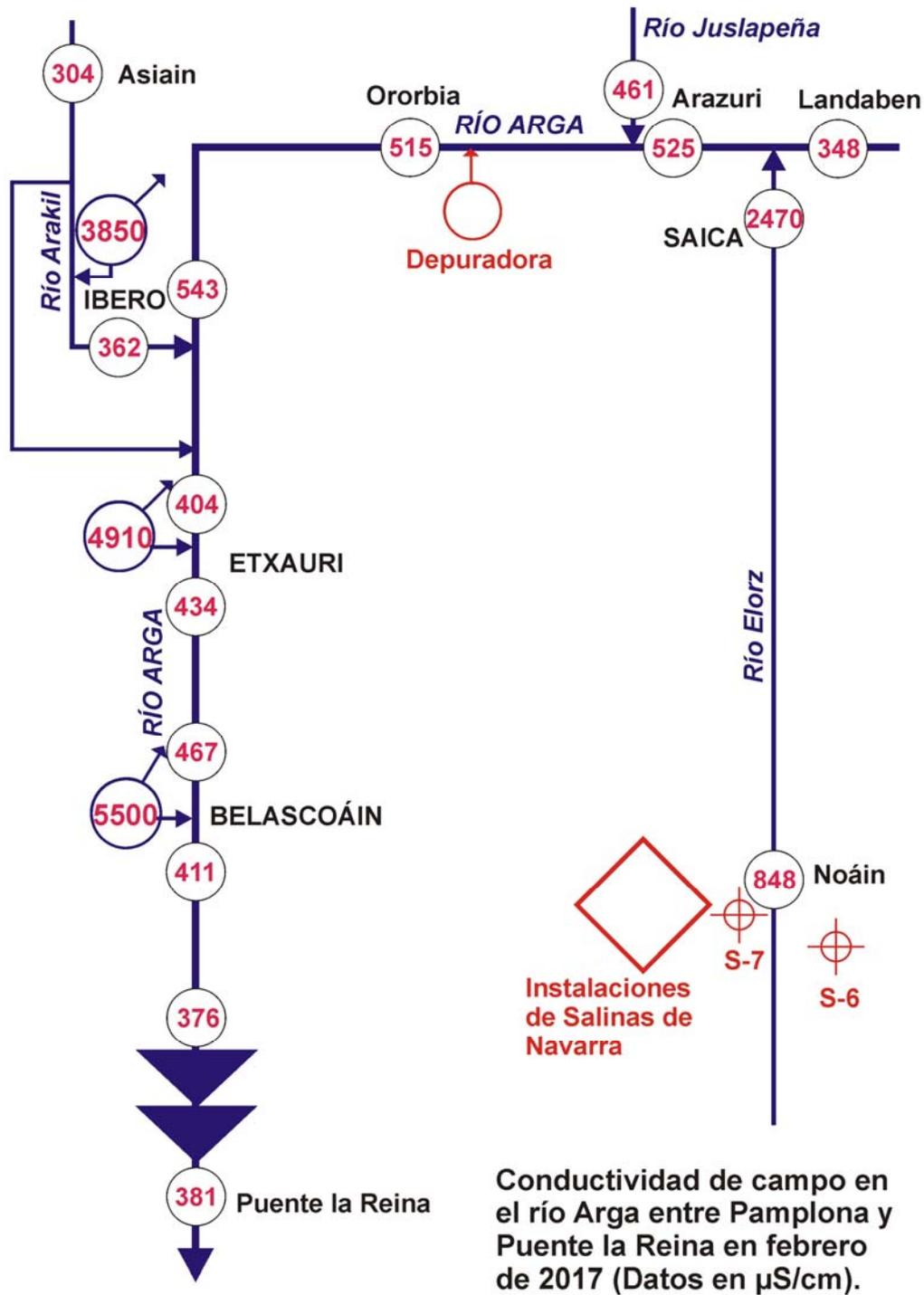


Figura 35. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de febrero de 2017.

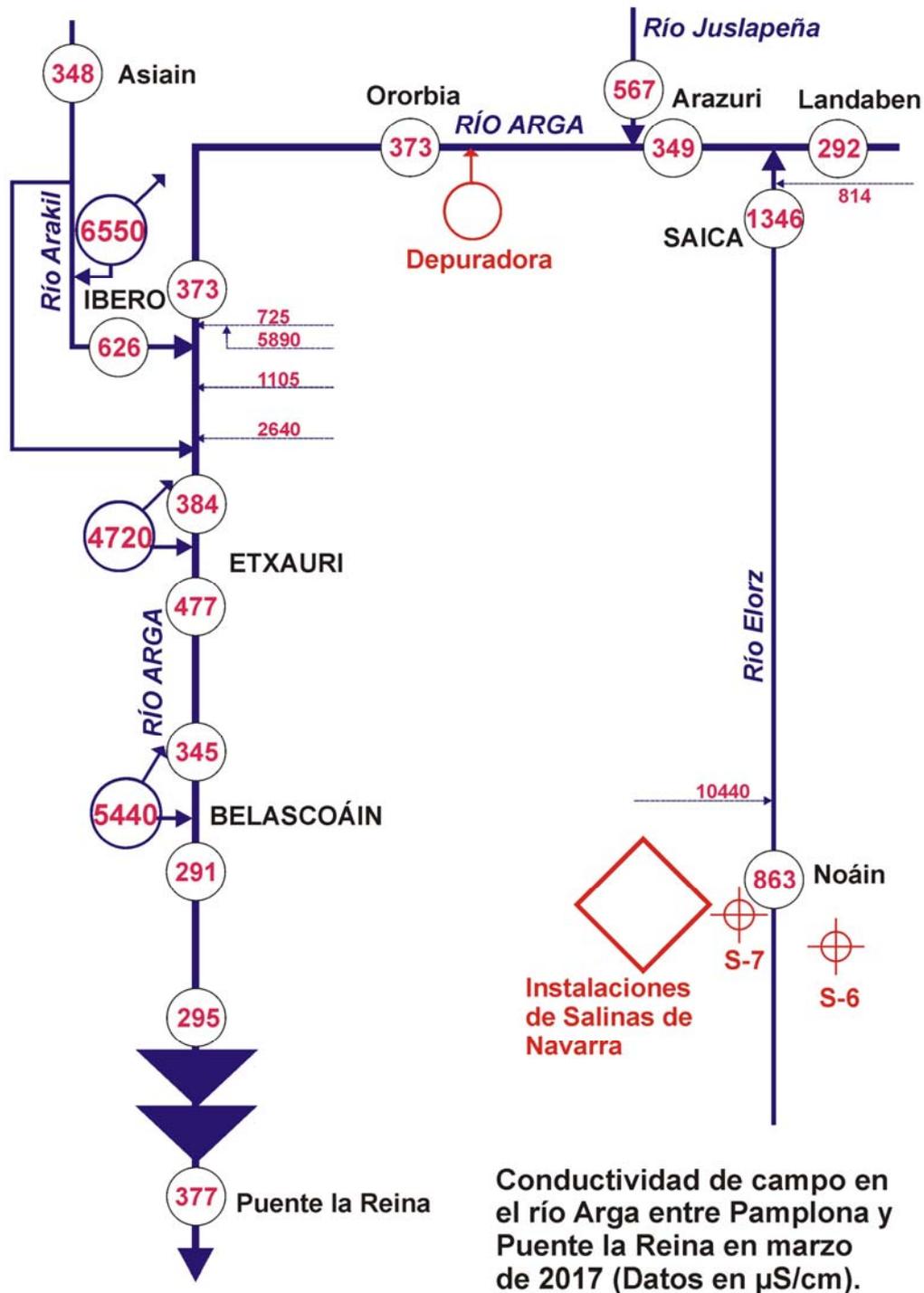


Figura 36. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de marzo de 2017.

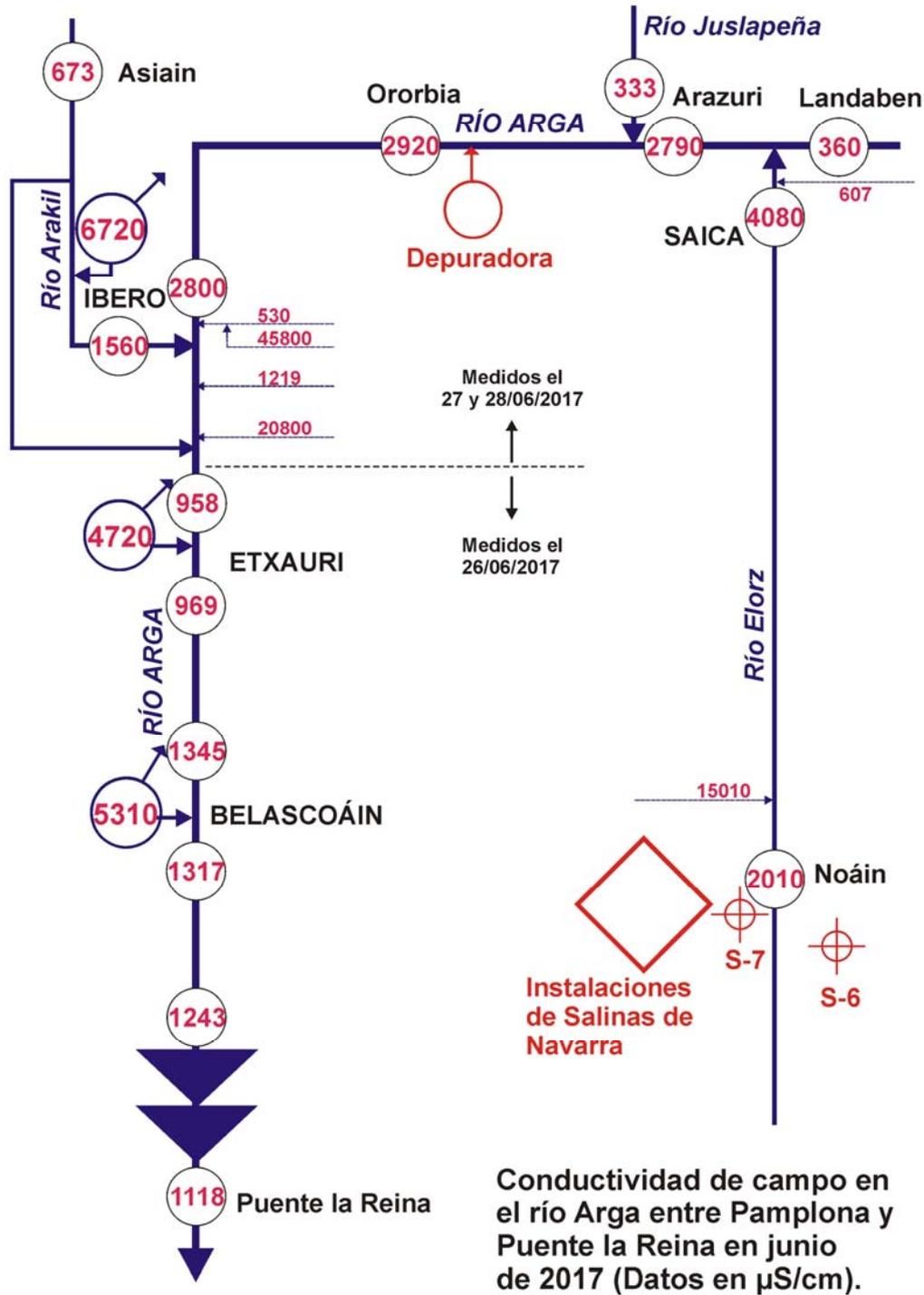


Figura 37. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de junio de 2017.

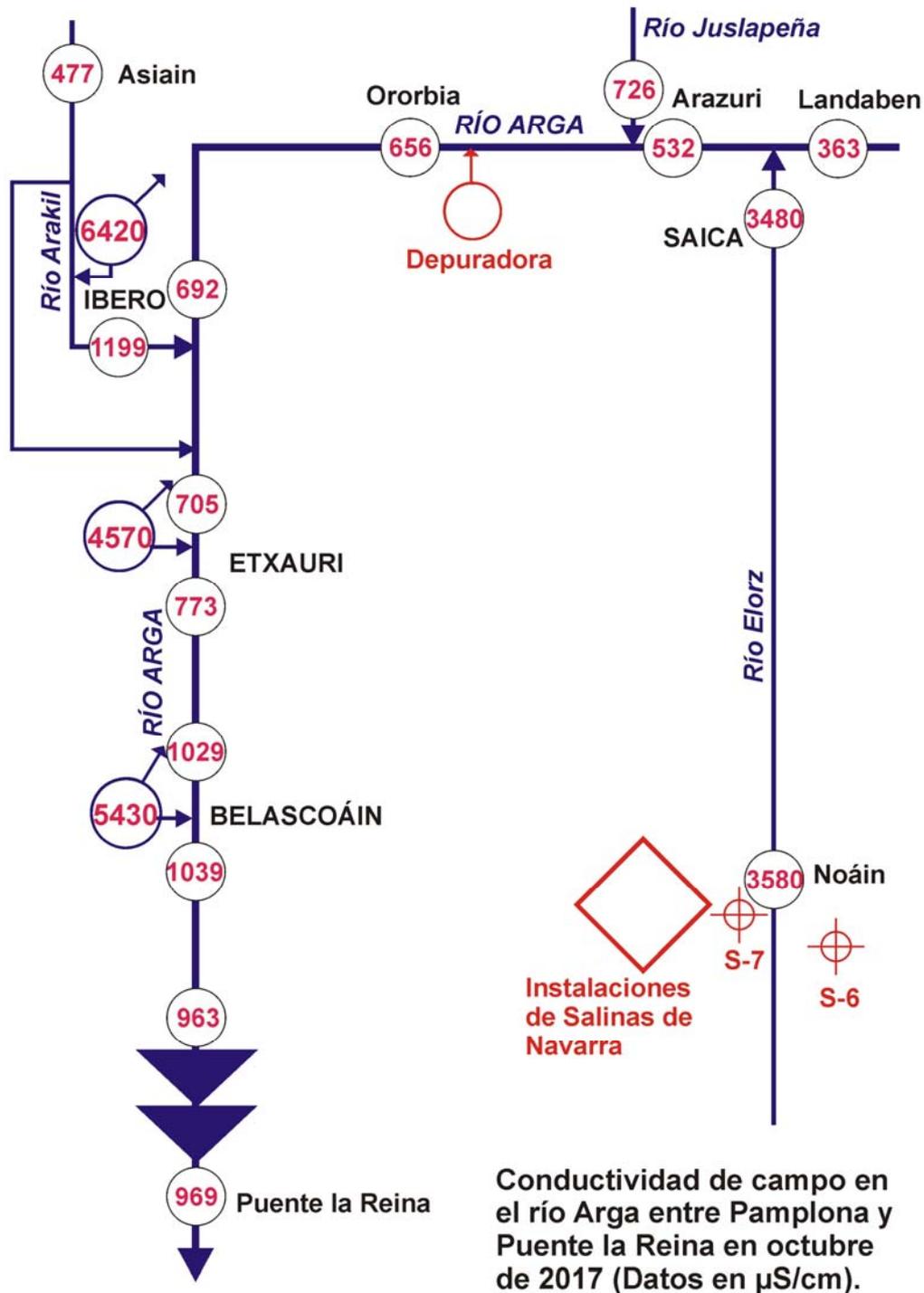


Figura 38. Conductividad eléctrica de campo en ríos y manantiales en la campaña de octubre de 2017.

2.2.2. Constituyentes mayoritarios y minoritarios de salmueras, aguas superficiales y subterráneas

La medida de las concentraciones de constituyentes mayoritarios se ha llevado a cabo en el laboratorio de Geotecnia del CEDEX. Los resultados obtenidos para los puntos seleccionados se incluyen en el Anexo 1 y se han resumido en un diagrama de Piper en la Figura 39. En la misma, se aprecian claramente varios grupos:

- Salmueras cloruradas sódicas. Corresponden a las muestras de la Balsa de Salinas, lugar de mezcla de la mayor parte de las aguas evacuadas a las calizas eocenas, a uno de sus componentes, el drenaje del rechazo de la fábrica de sal, y las aguas del río Salado en Salinas de Oro. Estas últimas muestran unos valores relativos mayores de sulfatos y de calcio que las salmueras relacionadas con el proceso industrial
- Salmueras cloruradas cálcicas. Son las muestras tomadas a mayor profundidad en el sondeo Ibero P2, hacia los 120 m. A unos 105 m la componente cálcica es menos evidente y adquiere importancia relativa el sodio.
- Ibero P2 somero. Son muestras que se distinguen del resto fundamentalmente por su mayor contenido relativo en magnesio.
- Ríos. Son muestras muy variables que oscilan desde bicarbonatadas cálcicas, cuando los ríos tienen mucho caudal, especialmente el Arakil, hasta próximas a cloruradas sódicas. Este ha sido el caso del río Ororbía muestreado durante uno de los picos de salinidad del río Arga motivado por la llegada del mismo desde el río Elorz.
- Manantiales del Arga. Son muestras situadas en el 10% de contenido en bicarbonato y entre el 60% y el 80% de contenido en sodio. Se diferencian bien del resto de los grupos y, a su vez, se distinguen entre ellos, siendo el menos sódico el de Etxauri y el de mayor porcentaje en ese ion el de Ibero. Este último, además, presenta la mayor variabilidad en la relación entre sus componentes mayoritarios.

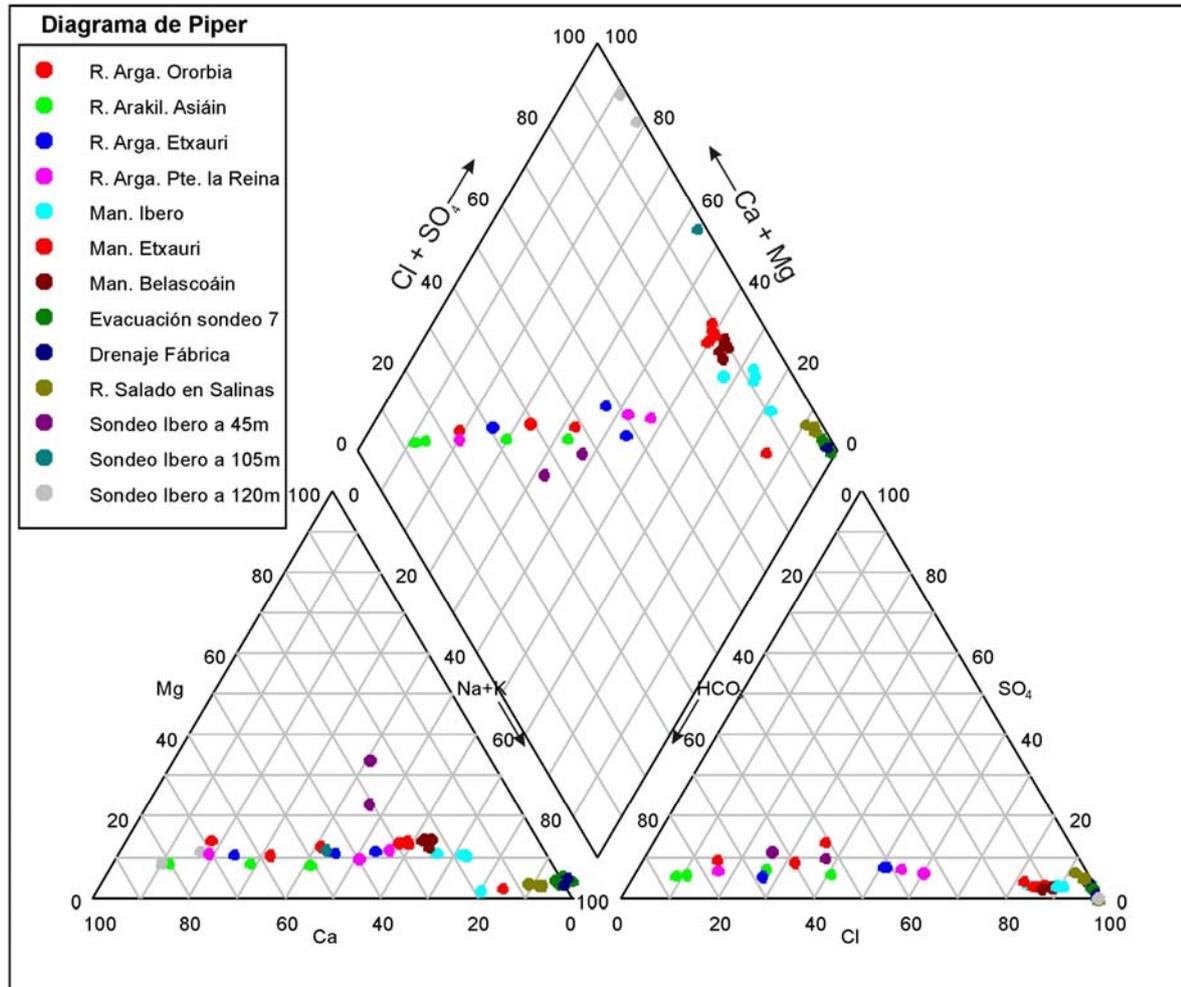


Figura 39. Diagrama de Piper de las muestras recogidas en las campañas de campo de 2016 y 2017.

Los análisis de metales y componentes orgánicos se han realizado en los laboratorios externos de TERRATEST, y los de constituyentes minoritarios en los laboratorios de Geotecnia (CEDEX) y, a efectos de intercomparación, en el Instituto de Ciencias de la Tierra Jaume Almera (ICTJA) del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC).

Los valores obtenidos en el laboratorio de TERRATEST se incluyen en el Anexo 2, donde puede verse que no se han encontrado, en las salmueras que se gestionan en la actualidad ni en los manantiales, indicadores orgánicos que puedan ser utilizados como trazadores de los procesos industriales de fabricación de sales. Por otro lado, las concentraciones de metales medidas tampoco han sido de utilidad en este sentido, dado que sus concentraciones han mostrado ser mayores tanto en las salmueras industriales y en las salmueras originadas en contacto con los materiales del Triásico por lo que no son indicativas de uno u otro origen.

Los resultados obtenidos por los laboratorios de Geotecnia (CEDEX) e ICTJA-CSIC muestran una incertidumbre elevada, especialmente en las muestras de salmuera, y no han podido ser utilizados para distinguir diferentes orígenes de las sales mediante constituyentes minoritarios o trazas.

Esta incertidumbre aplica también a los resultados obtenidos para las concentraciones de Br y, por tanto, del valor de la relación Cl/Br, que tampoco ha sido útil en este sentido debido a la gran variabilidad y superposición de valores que ha mostrado este índice en las muestras obtenidas durante el período 2016-2017 tanto en las salmueras industriales, originadas en contacto con materiales del Eoceno, como en las originadas en contacto con materiales del Triásico (Figura 40).

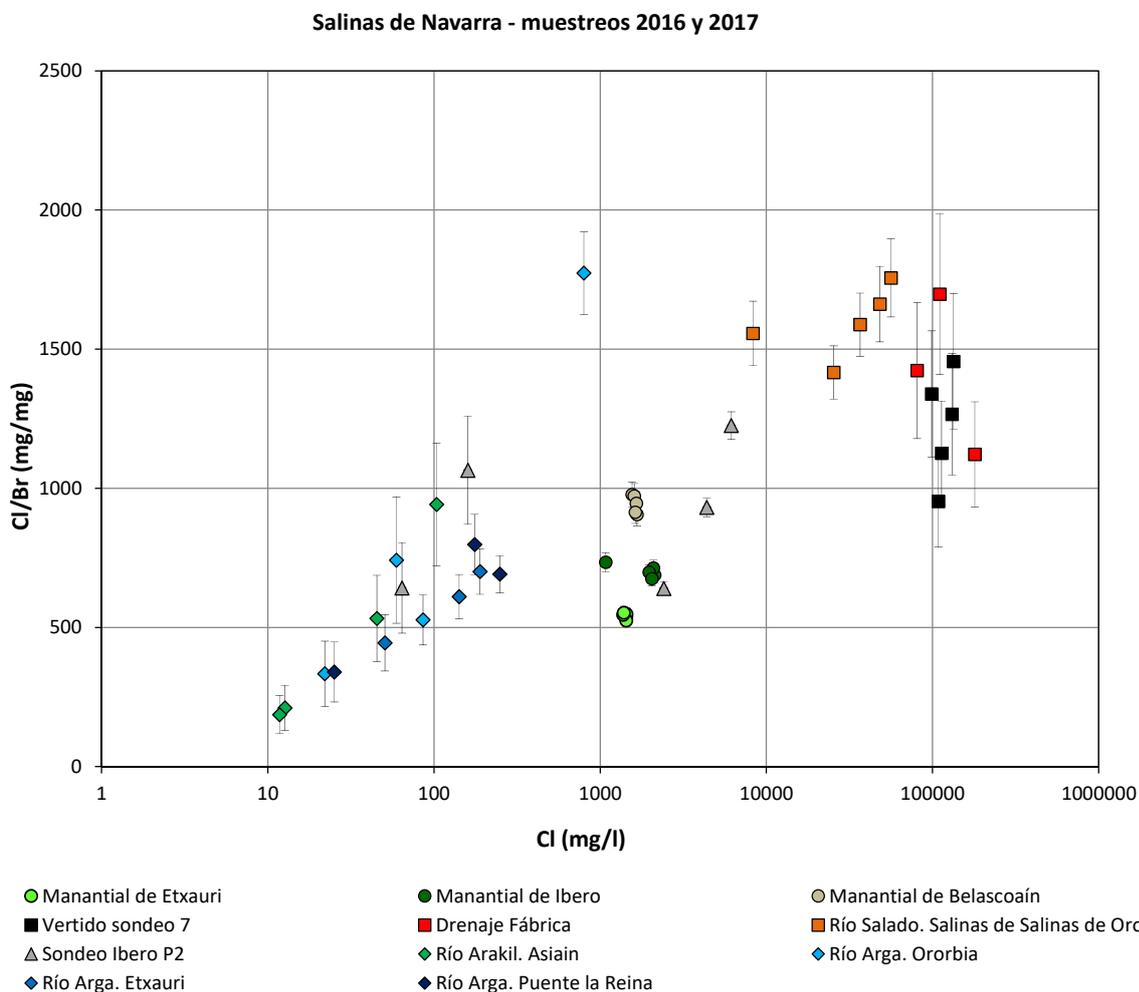


Figura 40. Valor de la relación Cl/Br frente a la concentración de Cl en las muestras recogidas en las campañas de campo de 2016 y 2017.

2.2.3. Isótopos estables del agua

Los valores de las desviaciones de las relaciones isotópicas $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ y $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ en las muestras de agua tomadas en las seis campañas de muestreo realizadas durante el año hidrológico 2016-2017 se presentan en la Tabla 7. Los puntos de medida corresponden a salmueras industriales, aguas superficiales y aguas subterráneas (manantiales y piezómetro Ibero P2).

La determinación de las desviaciones de las relaciones isotópicas $\delta^2\text{H}(\text{‰})$ y $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ se ha realizado en el LAI del CEDEX en espectrómetro de masas Finnigan Delta Plus Advantage, o en espectrómetro láser Picarro L-1102i (CRDS). La incertidumbre, para ambas espectrometrías es $\pm 0.2 \text{‰}$ para $\delta^{18}\text{O}$ y $\pm 1.5 \text{‰}$ para $\delta^2\text{H}$. Los resultados analíticos se expresan como desviación de las relaciones isotópicas de la muestra con respecto a las de una escala de patrones VSMOW-SLAP (Vienna-Standard Mean Ocean Water-Standard Light Antarctic Precipitation).

La Figura 41 muestra los resultados en el espacio $\delta^{18}\text{O}-\delta^2\text{H}$, y la comparación de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ con los de la conductividad eléctrica para todas las muestras. Las principales observaciones que pueden hacerse sobre esta figura son:

- En cuanto a la composición isotópica del agua de las salmueras evacuadas, se observa que en la actualidad ocupan una posición intermedia entre las aguas de precipitación de la zona que cae sobre las terrazas del Elorz y sobre las escombreras, y las de alimentación a la planta, procedente de la Balsa de Morea, con la que se mezclan antes de su envío a los sondeos. Esta Balsa muestra una huella clara de evaporación en lámina libre, y las aguas de precipitación están representadas en el gráfico en este caso por las aguas de los manantiales y los ríos. El drenaje de la fábrica, muestreado a la salida del agua que es sometida a todo el proceso de extracción de sales, tiene una composición isotópica idéntica a la de la Balsa de Morea.
- La composición isotópica del agua de la salmuera de evacuación a lo largo de las varias décadas de operación de la fábrica puede aproximarse conociendo que procede de la mezcla de los tipos de agua mencionados.
- El agua de los ríos y de los manantiales tiene su origen en la precipitación directa sobre sus áreas de aportación o recarga. Las diferencias que se observan entre las aguas de los ríos y de los manantiales se pueden explicar por la diferencia de cota entre las áreas de alimentación de unos y otros, así como por la diferente edad de sus aguas. Las aguas de los ríos corresponden a precipitación reciente y muestran la variabilidad de los eventos que dan lugar a la escorrentía en cada fecha, mientras que las aguas de los manantiales corresponden a la mezcla del agua de precipitación reciente con aguas más antiguas, como es normal en acuíferos kársticos.
- No se observa una huella de las salmueras de evacuación en la composición isotópica de las aguas que descargan en los manantiales afectados por salinización, lo que indica que el porcentaje de estas salmueras en la posible mezcla con las aguas de alimentación de los mismos es muy reducido.

Punto muestreo	Fecha de toma	Denominación	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Tritio (U.T.)	Incert. (U.T.)	C.E. campo ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
8	21/09/2016	Balsa de Salinas (Vertido a S-7)	-38.99	-4.72			226000
8	14/12/2016	Balsa de Salinas (Vertido a S-7)	-37.86	-4.68			223000
8	08/02/2017	Balsa de Salinas (Vertido a S-7)	-39.62	-5.66			217000
8	14/03/2017	Balsa de Salinas (Vertido a S-7)	-39.41	-5.30			213000
8	28/06/2017	Balsa de Salinas (Vertido a S-7)	-29.15	-5.15			223000
9	14/12/2016	Surgencia Escombrera	-47.73	-7.25			115300
9	14/03/2017	Surgencia Escombrera	-48.31	-7.35			67400
10	21/09/2016	Drenaje Arrubias	-50.51	-6.79			210600
10	14/12/2016	Drenaje Arrubias	-49.83	-8.57			253000
10	28/06/2017	Drenaje Arrubias	-31.11	-6.27			243000
11	21/09/2016	Drenaje Fábrica	-23.88	-2.34			230000
11	14/12/2016	Drenaje Fábrica	-25.58	-1.93			248000
11	08/02/2017	Drenaje Fábrica	-32.73	-4.81			181400
11	14/03/2017	Drenaje Fábrica	-28.86	-2.89			242000
11	28/06/2017	Drenaje Fábrica	-27.00	-4.69			198300
12	21/09/2016	Drenaje Meseta	-44.30	-6.47			154900
12	14/12/2016	Drenaje Meseta	-49.09	-7.05			176800
12	08/02/2017	Drenaje Meseta	-48.39	-6.75			97500
13	21/09/2016	Drenaje Media Ladera	-42.28	-5.92			132100
13	14/12/2016	Drenaje Media Ladera	-50.10	-7.18			133800
14	21/09/2016	Balsa Morea	-23.86	-2.56	4.44	± 0.34	417
14	14/12/2016	Balsa Morea	-26.55	-3.02			451
14	08/02/2017	Balsa Morea	-30.72	-3.69			537
14	14/03/2017	Balsa Morea	-33.45	-4.60			526
16	21/09/2016	Manantial de Ibero	-53.62	-8.33	2.13	± 0.26	7070
16	14/12/2016	Manantial de Ibero	-54.24	-8.44			7050
16	08/02/2017	Manantial de Ibero	-53.87	-7.90	2.94	± 0.29	3850
16	15/03/2017	Manantial de Ibero	-54.32	-8.51			6550
16	27/06/2017	Manantial de Ibero	-54.10	-8.57	1.74	± 0.25	6720
18	21/09/2016	Manantial de Etxauri	-54.19	-8.32	2.43	± 0.27	4920
18	14/12/2016	Manantial de Etxauri	-53.13	-8.28			5010
18	08/02/2017	Manantial de Etxauri	-53.26	-8.33	2.42	± 0.27	4910
18	15/03/2017	Manantial de Etxauri	-54.45	-8.50			4720
18	26/06/2017	Manantial de Etxauri	-54.73	-8.57	2.40	± 0.27	4720
21	21/09/2016	Manantial de Belascoáin	-54.32	-8.30	1.08	± 0.22	5220
21	14/12/2016	Manantial de Belascoáin	-54.71	-8.52			5440
21	07/02/2017	Manantial de Belascoáin	-52.32	-7.72	1.10	± 0.22	5500
21	14/03/2017	Manantial de Belascoáin	-54.70	-8.58			5440
21	26/06/2017	Manantial de Belascoáin	-54.69	-8.64	1.04	± 0.22	5310
23-045	14/12/2016	Sondeo Ibero P2 045m	-49.84	-7.46			656
23-045	09/02/2017	Sondeo Ibero P2 045m	-50.06	-7.37	2.75	± 0.28	663
23-045	27/06/2017	Sondeo Ibero P2 045m	-47.99	-7.31			819
23-105	14/03/2017	Sondeo Ibero P2 105m	-52.79	-8.21	2.43	± 0.27	7320
23-120	15/03/2017	Sondeo Ibero P2 120m	-52.43	-8.26	2.56	± 0.35	12600
23-117	27/06/2017	Sondeo Ibero P2 117m	-52.18	-8.43	2.07	± 0.26	16620
23-120	27/06/2017	Sondeo Ibero P2 118m	-52.82	-8.37			9080

Tabla 7. Valores $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, tritio y conductividad de campo en muestras de la zona de estudio: salmueras industriales y aguas subterráneas (manantiales y piezómetro Ibero P2).



ESTUDIO DE TRAZADORES QUÍMICOS E ISOTÓPICOS DEL VERTIDO DE SALMUERAS EN SONDEOS PROFUNDOS ASOCIADO A LA MINERÍA DE SALES SÓDICO-POTÁSICAS EN LA COMARCA DE PAMPLONA (NAVARRA)

Punto muestreo	Fecha de toma	Denominación	$\delta^2\text{H}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Tritio (U.T.)	Incert. (U.T.)	C.E. campo ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)
1	08/02/2017	Río Elorz. Estación SAICA	-44.35	-7.05			2470
5	21/09/2016	Río Arga. Ororbia	-47.39	-7.50			597
5	08/02/2017	Río Arga. Ororbia	-45.37	-7.38			515
5	15/03/2017	Río Arga. Ororbia	-48.92	-7.86			373
5	27/06/2017	Río Arga. Ororbia	-38.13	-6.15			2920
6	20/09/2016	Río Arakil. Asiain	-48.09	-7.77			404
6	13/12/2016	Río Arakil. Asiain	-51.28	-8.31			490
6	08/02/2017	Río Arakil. Asiain	-46.23	-7.08			304
6	15/03/2017	Río Arakil. Asiain	-47.40	-7.68			348
6	27/06/2017	Río Arakil. Asiain	-43.45	-7.10			673
7	13/12/2016	Río Arga. Ibero	-49.68	-7.88			791
15	13/12/2016	Río Arakil. Ibero	-51.93	-8.19			1745
17	21/09/2016	Río Arga. Etxauri	-48.44	-7.65	3.31	± 0.30	796
17	14/12/2016	Río Arga. Etxauri	-50.39	-7.93			868
17	08/02/2017	Río Arga. Etxauri	-47.96	-7.49			434
17	15/03/2017	Río Arga. Etxauri	-47.48	-7.78			477
17	26/06/2017	Río Arga. Etxauri	-36.86	-6.04			969
26	22/09/2016	Río Arga. Puente la Reina	-47.75	-7.40			914
26	07/02/2017	Río Arga. Puente la Reina	-49.82	-7.45			381
26	15/03/2017	Río Arga. Puente la Reina	-45.90	-7.64			377
26	26/06/2017	Río Arga. Puente la Reina	-42.11	-6.66			1118
28	22/09/2016	Río Elorz. Beriáin	-49.19	-7.17			2380
28	08/02/2017	Río Elorz. Beriáin	-45.25	-7.12			848
24	22/09/2016	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	-50.06	-7.86	3.18	± 0.30	129400
24	14/12/2016	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	-52.26	-7.98			98600
24	07/02/2017	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	-52.03	-7.87			26200
24	15/03/2017	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	-51.03	-8.10			71900
24	27/06/2017	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	-48.25	-7.82			113300

Tabla 7 (Cont.). Valores $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, tritio y conductividad de campo en muestras de la zona de estudio: aguas superficiales.

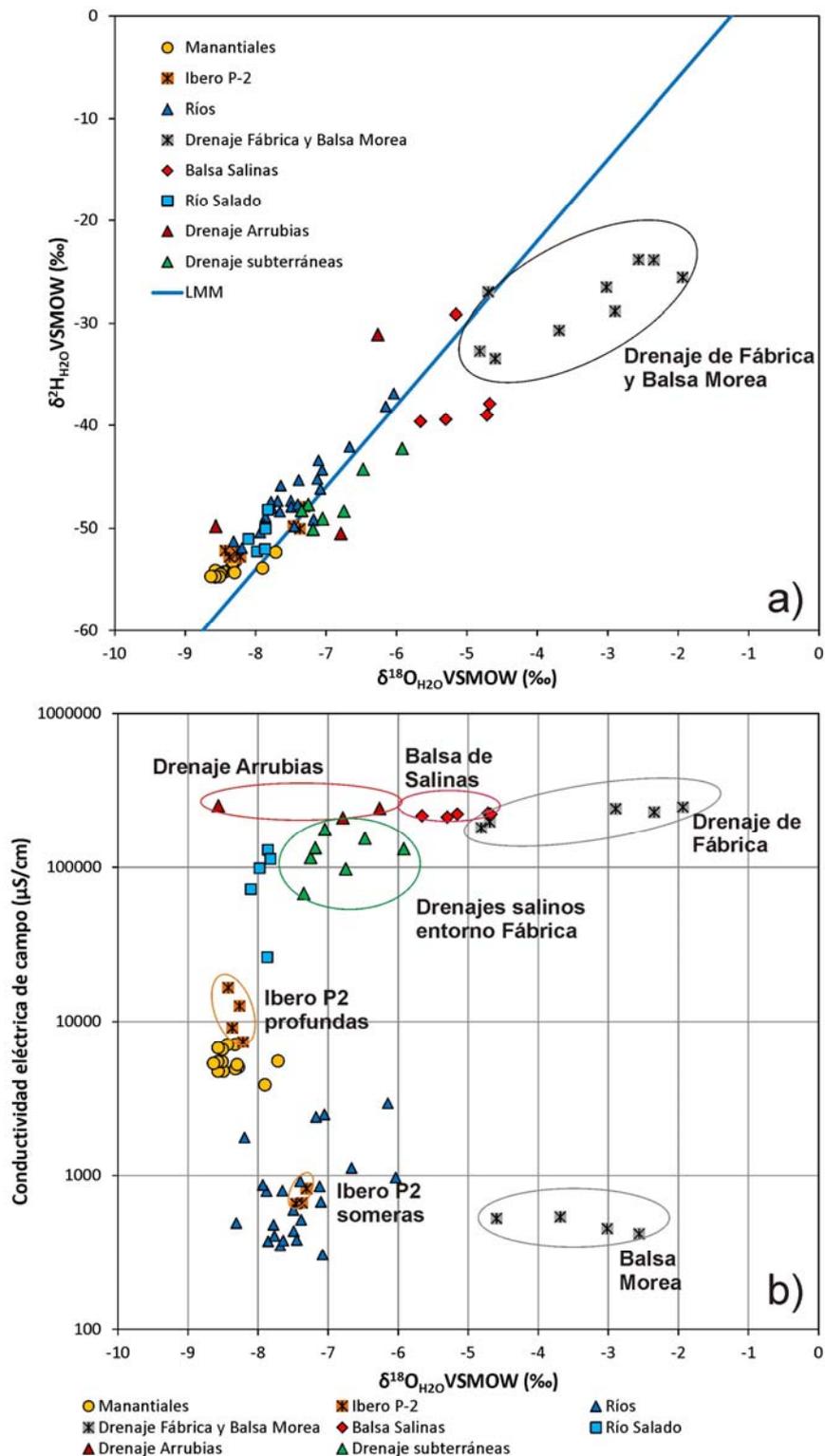


Figura 41. Características de los isótopos estables en las muestras recogidas en 2016 y 2017. a) Comparación de las desviaciones $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$. b) Comparación de los valores de $\delta^{18}\text{O}$ y los de la conductividad de las muestras en campo.



2.2.4. Isótopos indicadores de tiempo de residencia del agua en los acuíferos: Tritio, ^{14}C y ^{13}C

Los valores de la actividad de tritio medidas en las muestras de agua tomadas en las seis campañas de muestreo realizadas durante el año hidrológico 2016-2017 se presentan en la Tabla 7. Los puntos de medida corresponden a aguas superficiales (ríos y Balsa de Morea) y aguas subterráneas (manantiales y piezómetro Ibero P2).

La determinación de la actividad de tritio en las muestras de agua se ha realizado en el laboratorio del CEDEX previa concentración electrolítica, mediante un detector de centelleo líquido de muy bajo fondo. Se realiza según el procedimiento interno ITE-1006 Determinación de la actividad de tritio por concentración electrolítica en muestras de agua. La AMD alcanzada mediante este método, con un volumen de 500 ml y un tiempo de recuento de 360 minutos, es de 0.05 Bq/l.

La Figura 42 muestra estos valores junto con los medidos en las muestras de 1976 por el LAI del CEDEX en los manantiales de Ibero, Etxuri y Belascoáin y, como referencia, los medidos en la precipitación de las estaciones pertenecientes a la Red de Vigilancia de Isótopos en Precipitación (REVIP) del CEDEX de Madrid, y Zaragoza y Santander (más cercanas a la zona de estudio). En dicha figura se han representado, también como referencia, los modelos de desintegración radiactiva para los tres manantiales en 1976.

Las aguas que muestran mayor actividad de tritio, correspondiente a la precipitación más reciente, son las de la Balsa de Morea. También son elevadas las actividades medidas en las aguas de los ríos, aunque en éstos se hace patente la huella de la descarga de aguas subterráneas. El manantial de Belascoáin es el que presenta valores más bajos, correspondientes a una mayor influencia de aguas del acuífero con tiempos elevados de residencia, si bien la actividad de tritio es mayor que la observada en 2003 por IGME (2004), lo que indica una mayor presencia de aguas más “jóvenes” que en esa fecha. El manantial de Ibero es el que presenta mayor variabilidad, indicativa de la mayor karstificación del acuífero que lo alimenta. El manantial de Etxauri es el que muestra mayor estabilidad, como ocurre con los parámetros físico-químicos.

Los datos de actividad de tritio soportan un modelo de funcionamiento de acuífero kárstico, en el que se mezclan aguas de distintos tiempos de residencia en diferentes proporciones en función de las distintas variables que gobiernan el flujo asociado a cada manantial. El caso más extremo en cuanto a variabilidad de actividad de tritio y, por tanto, de mezcla de aguas es el manantial de Ibero.

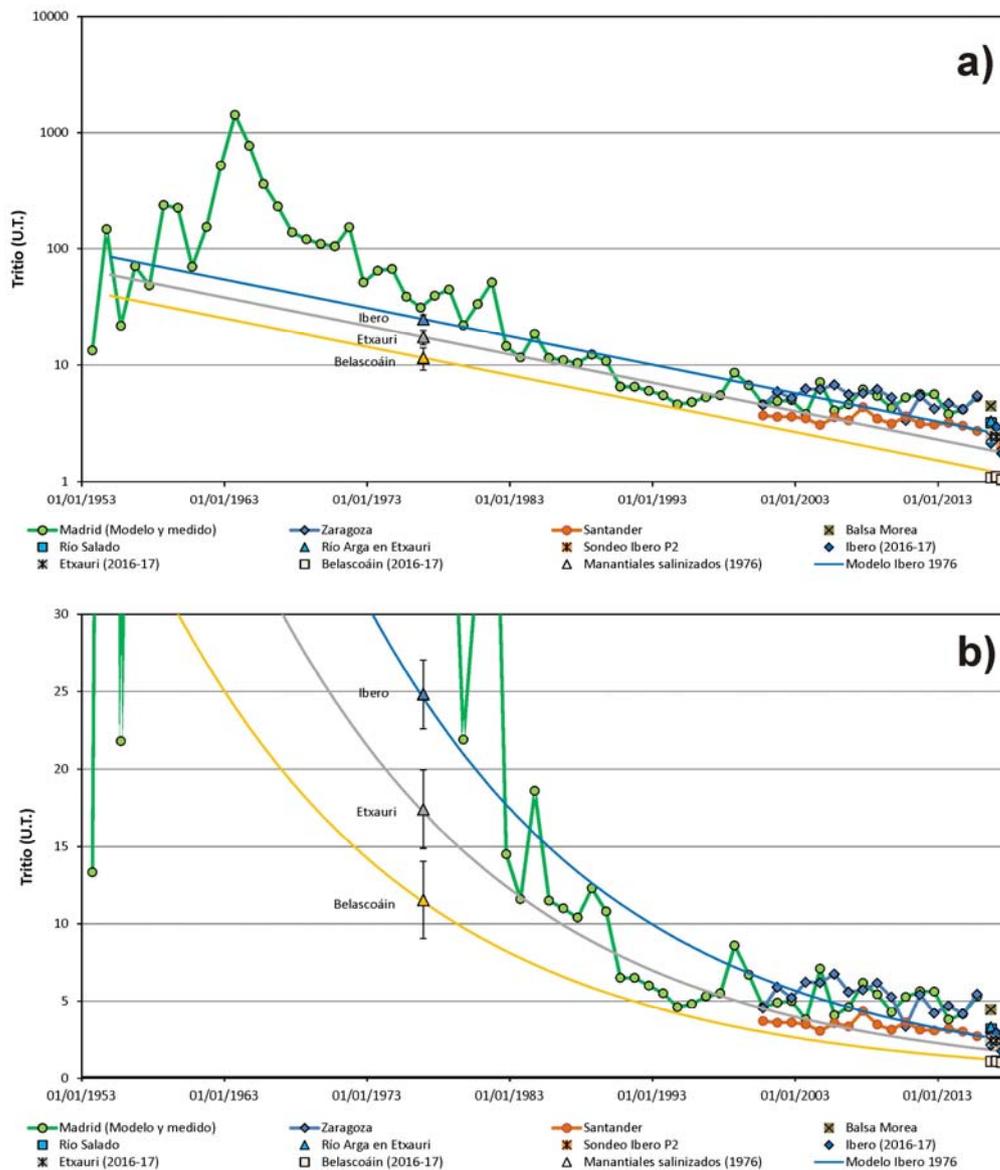


Figura 42. Comparación entre el contenido en tritio de la precipitación en Madrid, Zaragoza y Santander, en los manantiales del Arga a finales de 1976 y en las muestras recogidas en 2016 y 2017. a) Escala semilogarítmica. b) Escala aritmética.

Los valores de la actividad del isótopo radiactivo ^{14}C , cuyo período de semidesintegración es de 5730 años, y del valor de $\delta^{13}\text{C}$ medidos en el carbono inorgánico disuelto (DIC) en el agua se han medido en el presente estudio en los tres manantiales del Arga. Los resultados obtenidos se incluyen en la Tabla 8.

DENOMINACIÓN	FECHA TOMA	ACT. ¹⁴ C	INCERT. (±)	δ ¹³ C	EDAD APARENTE BP	CORRECCIÓN OEIA/GONFIANTINI	EDAD BP (años)
		(pmC)	(pmC)	(‰)	(años)	q	
MAN. IBERO	08/02/2017	74.51	0.29	-12.46	2432	0.73	Actual
MAN. ETXAURI	08/02/2017	58.42	0.25	-10.69	4444	0.63	740
MAN. BELASCOÁIN	07/02/2017	37.12	0.20	-8.72	8193	0.51	2805

Tabla 8. Valores de actividad de ¹⁴C moderno en el carbono inorgánico disuelto, δ¹³C, edad aparente y edad corregida por el método de OEIA/Gonfiantini en las muestras de agua de los manantiales del Arga de febrero de 2017.

La datación por ¹⁴C en agua es compleja, ya que su actividad está afectada no sólo por el decaimiento producido por la desintegración radiactiva, sino también por otros procesos fisicoquímicos del ciclo del carbono en la zona no saturada y en la zona saturada. Por ello es necesario ajustar el valor inicial de ¹⁴C utilizado para calcular la edad por desintegración radiactiva. Para el presente estudio esa concentración inicial se ha corregido mediante el modelo de OEIA/Gonfiantini, que tiene en cuenta exclusivamente el valor de δ¹³C del carbono inorgánico disuelto, indicador del grado de evolución del agua en el acuífero. De todos modos, en una primera aproximación, la relación entre la actividad del carbono-14 y el δ¹³C (Figura 43), ya indica que los puntos muestreados corresponden a un sector en el que las aguas subterráneas presentan diferentes grados de evolución y edad, mostrando una cierta dispersión en valores de actividad de ¹⁴C y de δ¹³C.

Los resultados obtenidos tras aplicar la corrección elegida se muestran también en la Tabla 8. A partir de la misma se desprende que las aguas más antiguas corresponden al manantial de Belascoáin, a cuyas aguas se les ha calculado una edad de 2800 años, mientras que las del manantial de Etxauri tendrían aguas de unos 750 años y las del manantial de Ibero serían aguas recientes. La posición relativa en cuanto a antigüedad del agua obtenida por este método es coherente con la obtenida con tritio para la fecha de toma de muestras ¹⁴C (febrero de 2017), cuando la actividad de tritio es máxima en el manantial de Ibero y su salinidad mínima.

Sin embargo, las edades del agua calculadas para estos manantiales, de cientos o miles de años, deben entenderse como orientativas y no como edades absolutas, dada la presencia de mezcla de aguas más jóvenes con aguas de mayor edad en todos los puntos.

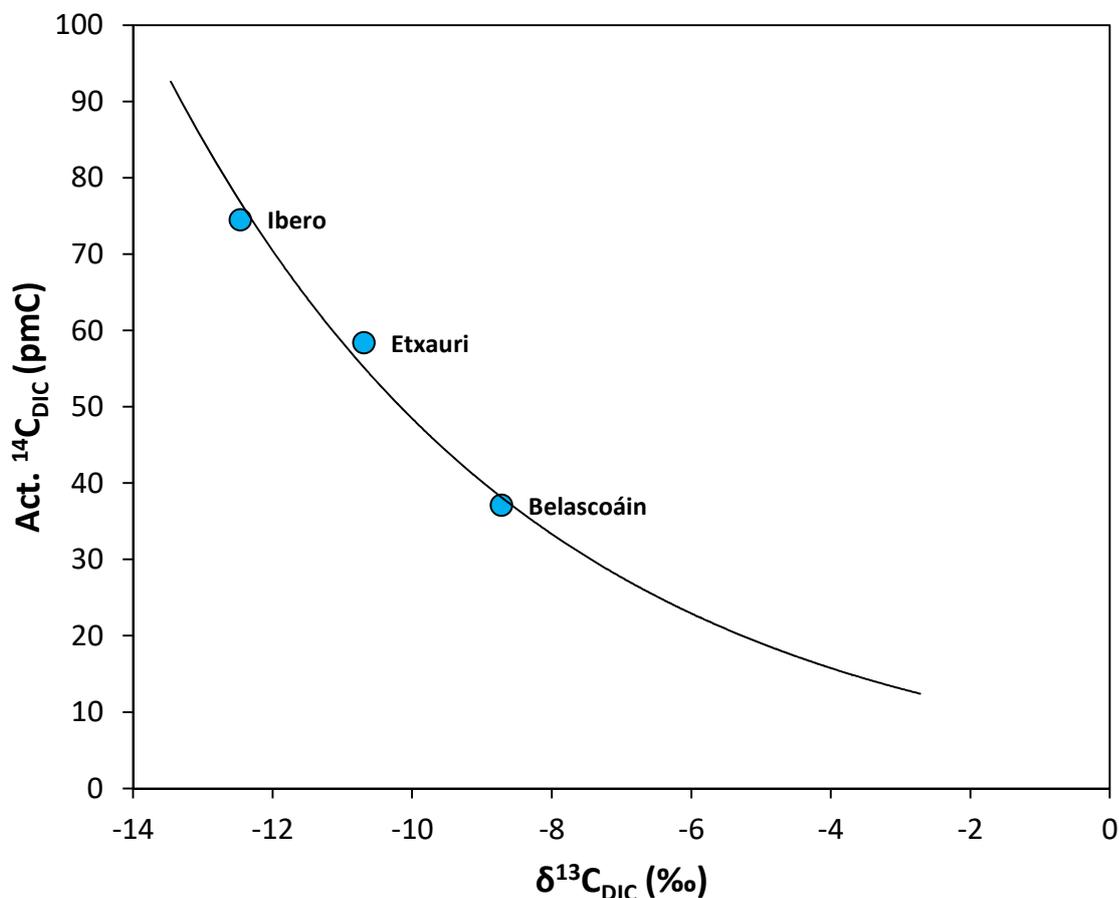


Figura 43. Relación entre la desviación $\delta^{13}\text{C}$ y la actividad de ^{14}C moderno en el carbono inorgánico disuelto en las muestras de agua de los manantiales del Arga en febrero de 2017.

2.2.5. Otras determinaciones

2.2.5.1. Medida de la densidad del agua y del residuo seco

Se han realizado estas medidas en algunas de las muestras recogidas para análisis de componentes físicoquímicos, utilizándose métodos gravimétricos.

Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 9. En el caso de la densidad, los valores medios de la Balsa de Salinas (que se evacúan a través del sondeo S-7) se utilizaron para calcular el potencial hidráulico en el sondeo S-6, cuyos valores aparecen en la Figura 21 sobre piezometría.



Muestra	Fecha toma	C.E. campo ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Densidad (g/ml)	I.C.-95% (g/ml)	Residuo Seco (g/l)	I.C.-95% (g/l)
Balsa Salinas (Evacuación a S-7)	21/09/2016	226000	1.15795	0.0005	344.6	1.1760
Balsa Salinas (Evacuación a S-7)	14/12/2016	223000	1.15326	0.0005	313.6	13.3278
Balsa Salinas (Evacuación a S-7)	08/02/2017	217000	1.13698	0.0016	221.0	1.1760
Balsa Salinas (Evacuación a S-7)	14/03/2017	213000	1.13030	0.0022	216.0	1.5680
Drenaje de Fábrica	08/02/2017	181400	1.10274	0.0008	165.0	0.3920
Drenaje de Fábrica	14/03/2017	242000	1.19936	0.0018	382.4	0.1386
Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	22/09/2016	129400	1.06691	0.0007	103.7	0.2613
Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	14/12/2016	98600	1.04538	0.0008	69.2	0.1386
Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	07/02/2017	26200	1.00782	0.0009	16.0	0.1386
Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	15/03/2017	71900	1.03190	0.0007	50.0	0.1386
Manantial de Ibero	21/09/2016	7070	0.99833	0.0021	ND	ND
Manantial de Ibero	14/12/2016	7050	1.00042	0.0016	4.2	0.3920
Manantial de Etxauri	14/12/2016	5010	1.00000	0.0008	3.1	0.1960
Balneario Belascoáin	14/12/2016	5440	0.99970	0.0010	3.4	0.1386

C.E. = Conductividad de campo; I.C. = Intervalo de confianza; ND = No determinado

Tabla 9. Valores de densidad y residuo seco determinados.

2.2.5.2. Espectrometría gamma y medida de la concentración de potasio por absorción atómica

En el Laboratorio de Aplicaciones Isotópicas (LAI) del CEDEX se han realizado medidas por espectrometría gamma para identificar la presencia de radionucleidos de las series naturales del U-238 y Th-232 en las aguas de la zona de estudio que pudieran ser utilizados como trazadores del origen de las sales. Por otro lado, dada la importancia que tiene el valor de la concentración de potasio en la caracterización de las aguas subterráneas en la zona de estudio, se ha determinado su valor por distintos métodos, espectrometría gamma y absorción atómica, en este mismo laboratorio. Los valores obtenidos se presentan en la Tabla 10, donde se observa que las actividades de los radionucleidos son inferiores a la actividad mínima detectable en todas las muestras, por lo que no permiten su utilización como trazadores, y que las concentraciones de potasio coinciden con las medidas por cromatografía iónica en el laboratorio de Geotecnia del CEDEX.

Denominación	Actividad (Bq/l)			
	K-40	Serie U-238 (Th-234)	Ra-226 (Bi-214/Pb-214)	Th-232 (Ac-228)
Vertido sondeo 7	128 ± 5	< 1,02	< 0,16	< 0,32
Balsa Morea	< 0,71	< 0,87	< 0,14	< 0,23
Manantial de Ibero	2,0 ± 0,9	< 0,89	< 0,15	< 0,24
Río Arga. Etxauri	< 0,38	< 0,50	< 0,08	< 0,13
Manantial de Etxauri	< 0,67	< 0,87	< 0,14	< 0,23
Manantial de Belascoáin	< 0,52	< 0,63	< 0,11	< 0,17
Río Salado. Salinas de Oro	12,7 ± 1,2	< 0,88	< 0,14	< 0,24
Río Arga. Puente la Reina	0,7 ± 0,5	< 0,49	< 0,08	< 0,13

Denominación	K (mg/l)	
	Medida	"±" Error
Vertido sondeo 7	4070	94.42
Manantial de Íbero	61	1.41
Río Arga. Etxauri	7	0.16
Manantial de Etxauri	33	0.76
Manantial de Belascoáin	5	0.11
Río Salado. Salinas de Oro	398	9.23

Tabla 10. Sup.: Actividad potasio y de radionucleidos de las series naturales del U-238 y Th-232 medida por espectrometría gamma. Inf.: Concentración de potasio obtenida por absorción atómica. Todas las medidas corresponden a muestras de agua de la campaña de septiembre de 2016.

2.2.5.3. Registro continuo de parámetros en sondeo Ibero P2 y en estación SAICA del Elorz en Pamplona

En septiembre de 2016 se instalaron sendos dispositivos de registro continuo del tipo CTD-Diver de Schlumberger en el sondeo Ibero P2 (Figura 20) y en la estación SAICA-SAIH que la CHE tiene en el río Elorz en las proximidades de Pamplona (punto 9270 de la Figura 18). Dichos dispositivos miden presión del agua (en un rango entre 0 y 30 m de H₂O), temperatura (rango entre -20 °C y 100 °C) y conductividad eléctrica (rango entre 0 y 80 mS·cm⁻¹).

El CTD-Diver instalado mide la presión absoluta sobre el dispositivo, por lo que para obtener exclusivamente el valor de la presión del agua debe descontarse la presión que ejerce la atmósfera en la zona. Para ello, en diciembre de 2016 se instaló en la estación SAICA otro dispositivo específico para medida de presión. En el intervalo entre septiembre y diciembre de 2016, la presión atmosférica considerada para compensar la presión total fue la de la estación meteorológica Pamplona-GN del Gobierno de Navarra.



En el sondeo Ibero P2, que ha sido utilizado como piezómetro desde la década de 1980 (apartado 2.1.4), se han realizado además perfiles de variación de temperatura y conductividad eléctrica con la profundidad.

Sondeo Ibero P2: Perfiles Profundidad-Conductividad eléctrica-Temperatura

El sondeo Ibero P2, situado entre las localidades de Ibero y Etxauri, constituye uno de los pocos puntos de acceso a las aguas subterráneas de la zona de estudio fuera de los manantiales próximos. Con un total de 126 m de profundidad, fue construido en 1981 por la entonces Diputación Foral de Navarra (DFN) como sondeo de preexplotación, tras la perforación de otro sondeo próximo (Ibero R1), de 233 m de profundidad, con fines de investigación del acuífero. La cercanía de ambos sondeos hace suponer que las características geológicas e hidrogeológicas son similares, y así se ha asumido en el presente informe, en el que la información se ha obtenido de DFN (1982) e IGME (2004).

Como aspectos más destacados se pueden mencionar que el sondeo se perfora en las margas de Pamplona para pasar posteriormente a materiales carbonatados del Eoceno. Estos presentan características litológicas diferentes en profundidad, y se encuentran afectados por fisuras y conductos por los que circulaba preferentemente el agua durante la perforación, siendo lo más significativo el que se corta la falla de Etxauri. En la Figura 44 se han resumido las principales características del sondeo.

No se ha conseguido obtener información previa relativa a la calidad química del agua del sondeo Ibero P2, salvo alguna medida de conductividad eléctrica realizada por la CHE y los datos analíticos realizados por el IGME en 2003, todos ellos correspondientes a los tramos superiores del sondeo.

Por ello, se han realizado cuatro perfiles de variación de la temperatura y conductividad eléctrica con la profundidad, correspondientes a las campañas de diciembre de 2016, y febrero, marzo y junio de 2017. Las medidas se han llevado a cabo mediante una sonda WTW Multi 197 acoplada a un cable con longitud de 100 m. Para la observación de las conductividades eléctricas y temperaturas a mayor profundidad (el sondeo es accesible hasta los 121 m), en las campañas de febrero y junio de 2017 se ha utilizado un CTD-Diver sincronizando el tiempo a una profundidad específica. Aunque ambos dispositivos se han calibrado siguiendo las indicaciones de los fabricantes, existen algunas diferencias en los valores de conductividad eléctrica, aunque no son significativas a efectos del objetivo de observar las posibles variaciones de las características físicoquímicas del agua subterránea con la profundidad.

En la figura 44 se han representado los perfiles en los que se han alcanzado las mayores profundidades, y que son también los más diferentes.

Por lo que se refiere a la variación de la conductividad eléctrica comienza con valores entre 600 y 1100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, va creciendo en profundidad en escalones coincidentes fundamentalmente con cambios litológicos, y zonas de fisuras y conductos hasta alcanzar los 8500 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, y a partir de los 110 m de profundidad, coincidente aproximadamente con el corte de la falla de Etxauri, la

conductividad eléctrica se incrementa de forma casi lineal hasta valores cercanos a los 30000 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ a la máxima profundidad accesible.

Respecto a la variación de la temperatura, se pueden diferenciar dos tramos. En el primero, que llega hasta los 90 m de profundidad aproximadamente, la temperatura crece de modo lineal. Ese incremento es diferente en función de la época del año. Así de los dos perfiles mostrados en la Figura 44, el correspondiente al mes de febrero de 2017 presenta un incremento de la temperatura de 6.5°C/100 m, mientras que en el de junio de 2017 el incremento es de 4.5°C/100 m. Parece pues existir una cierta influencia de la variación de la temperatura externa con los niveles acuíferos más altos que corta el sondeo. En cualquier caso, el gradiente geotérmico es mayor que el considerado como natural, como reflejan también las temperaturas de los manantiales próximos y las del balneario de Belascoáin.

En el segundo tramo, que comprende unas calizas eocenas compactas, la temperatura del agua permanece casi constante en un valor próximo a 19°C.

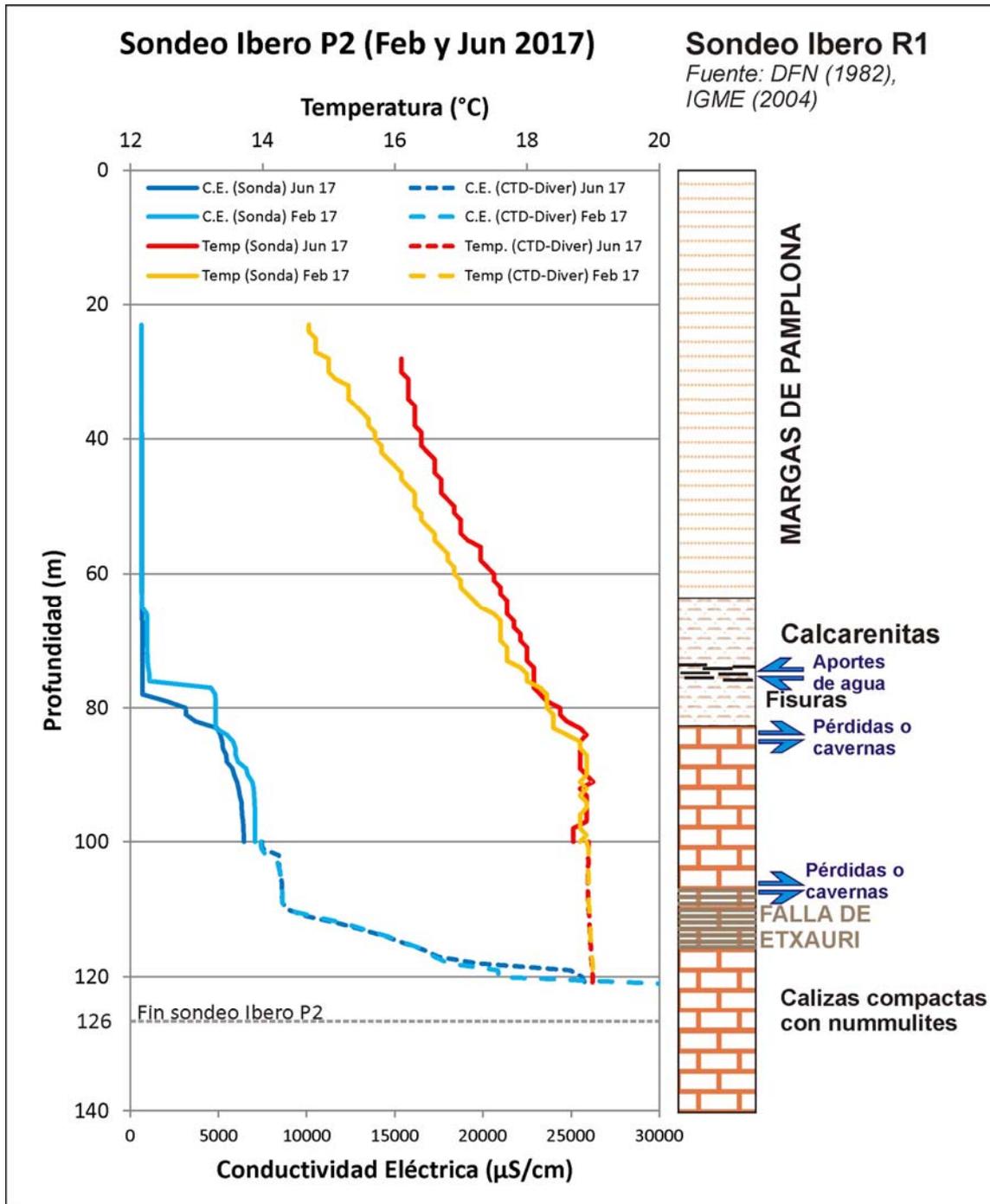


Figura 44. Columna sintética el sondeo Ibero R1 hasta los 140 m de profundidad y perfiles de Profundidad-Temperatura-Conductividad eléctrica en el sondeo Ibero P2 realizados en las campañas de febrero y junio de 2017.

Sondeo Ibero P2: Variación temporal de nivel, temperatura y conductividad eléctrica específica del agua

El CTD-Diver utilizado para registrar la evolución temporal de parámetros hidrológicos en el sondeo se instaló a una profundidad de 35 m por su rango de funcionamiento (presión inferior a 30 m de columna de agua) y tras analizar los valores piezométricos previos. El control, pues, se limitó a los niveles más altos del sondeo. El registro medido ha sido diario.

La evolución de las variables medidas desde su instalación (septiembre de 2016) hasta su retirada (octubre de 2017) se ha representado en la Figura 45. El nivel de agua representado corresponde a la presión medida compensada con la presión atmosférica. En la figura también aparecen los valores de nivel medidos con sonda manual en las campañas de campo y la precipitación diaria en la estación de Pamplona-GN. La coincidencia en los niveles de campo y los calculados para el CTD-Diver confirman su buen funcionamiento.

Cabe destacar la evolución parecida de la temperatura y los niveles. Ambos registran cambios bruscos de valores cuando se producen precipitaciones durante el otoño y el invierno, mostrando una respuesta rápida a la recarga por la naturaleza kárstica del medio. Así, cuando se producen precipitaciones significativas en otoño, los niveles ascienden en pocos días para descender posteriormente, y las temperaturas se reducen drásticamente con la llegada de esa agua para volver a ascender. Con las lluvias más generalizadas y continuas que se produjeron durante el invierno esa característica de cambios bruscos de valores continúan, pero las tendencias son más netas en el ascenso de niveles y en el enfriamiento de las aguas. Sin embargo, durante la primavera, no se han detectado cambios bruscos relacionados con las precipitaciones, quizá por ser más locales o no alcanzar la zona saturada, y los niveles descienden y las temperaturas se incrementan progresivamente.

La evolución de la conductividad eléctrica muestra que con los pulsos de lluvia, el agua presenta unos valores ligeramente mayores, aunque cuando se produce el ascenso generalizado del nivel en invierno, se moviliza agua de mayor salinidad, quizá de niveles más profundos, que provoca un incremento en la conductividad de hasta el 100%, para después descender de forma más suave. Este incremento en la conductividad en los meses invernales se ha comprobado también en la parte alta de los perfiles en profundidad, donde la conductividad medida pasa de unos 600 a algo más de 1100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, como se ha indicado anteriormente. Sin embargo, puntualmente, puede haber aportaciones de aguas más dulces que reducen bruscamente la conductividad eléctrica, como ocurre a principios del mes de marzo. Estos descensos de salinidad se producen también eventualmente en el manantial de Ibero, como ocurrió durante el presente estudio en el muestreo de febrero de 2017. Todo ello pone de nuevo en evidencia la importancia de la karstificación en este acuífero.

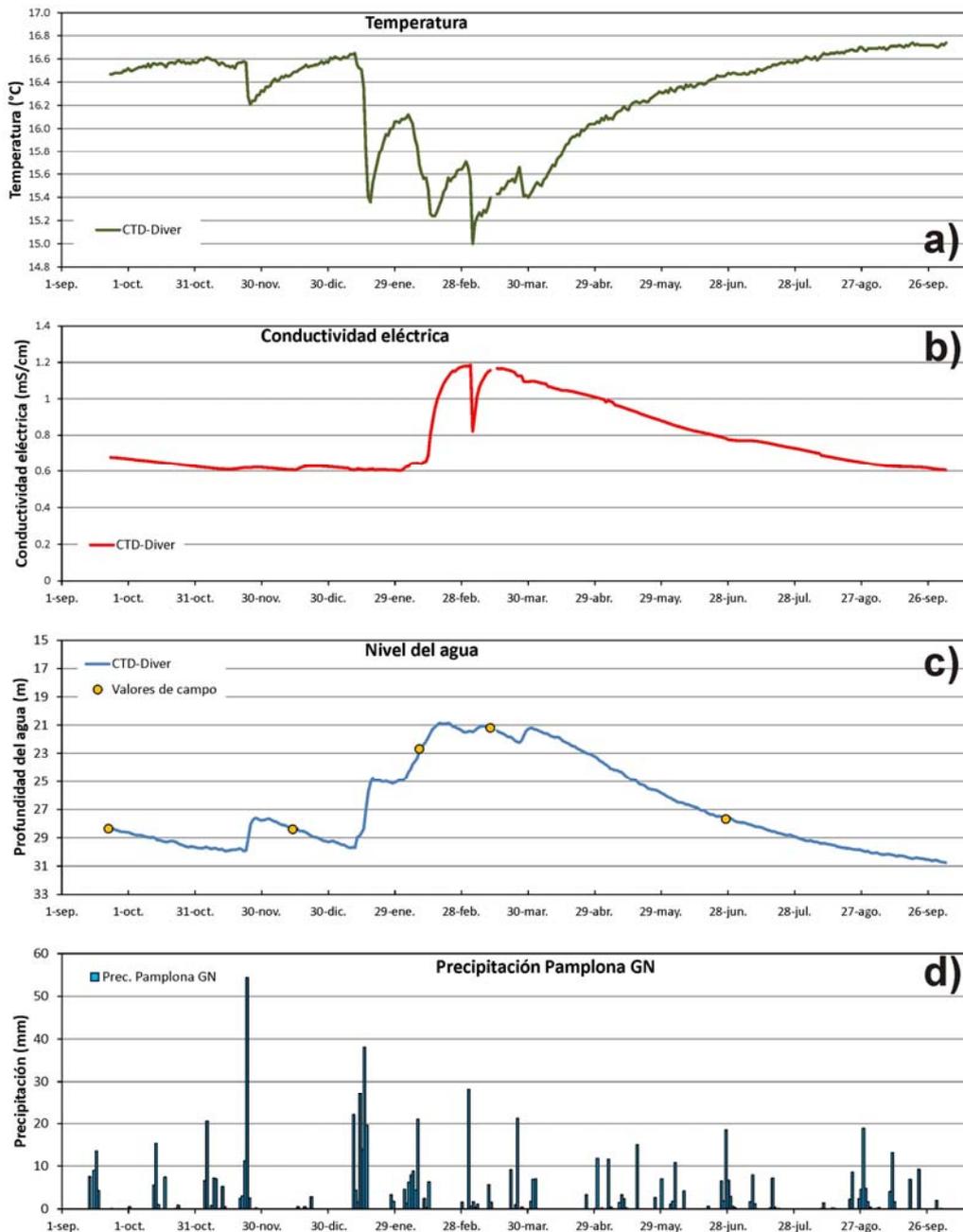


Figura 45. Variación temporal de la temperatura (a), conductividad eléctrica específica (b) y nivel del agua (c), registrado por un CTD-Diver situado a 35 m de profundidad en el sondeo Ibero P2, y comparación con la precipitación diaria en la estación meteorológica del Gobierno de Navarra en Pamplona (d).

Estación SAICA del río Elorz en Pamplona: Variación temporal de nivel, temperatura y conductividad eléctrica específica del agua

También en la estación SAICA del Elorz en Pamplona se instaló un CTD-Diver, con el fin de comprobar la interferencia de la calidad de este río con los balances de masa a realizar aguas abajo. En este caso, los datos de nivel sólo tenían valor relativo para indicar cambios del caudal. Los datos de nivel de la estación SAIH contigua se han utilizado para comprobar el funcionamiento del sensor del CTD-Diver y de la validez de la compensación barométrica necesaria para transformar la presión medida en nivel de agua.

En la Figura 46 se han representado la evolución de la temperatura y conductividad eléctrica del agua y el nivel de esta sobre el sensor, además de las precipitaciones diarias registradas en la estación meteorológica Pamplona-GN.

En este caso, lo más característico es la existencia de pulsos de salinidad que afectan al río Elorz en esta estación, y que se ha comprobado que afectan también al río Arga (campaña de junio de 2017, Figura 37). Estos pulsos son más evidentes en otoño, primavera y verano, con lluvias intensas puntuales, llegándose a incrementar el valor de la conductividad eléctrica hasta 5 veces.

Durante el invierno, con lluvias más continuas y generalizadas, los picos de incremento de conductividad eléctrica son menores y se produce una reducción en la salinidad del río por una dilución en su gran caudal. Así, desde mediados de enero hasta finales de marzo de 2017, la conductividad eléctrica se mantiene, con variaciones, en el entorno de los $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Así pues, todos los picos de salinidad registrados en el período de medida están asociados a incrementos de caudal, pero no todos los picos de caudal producen incremento en la salinidad del río Elorz a su paso por Pamplona.

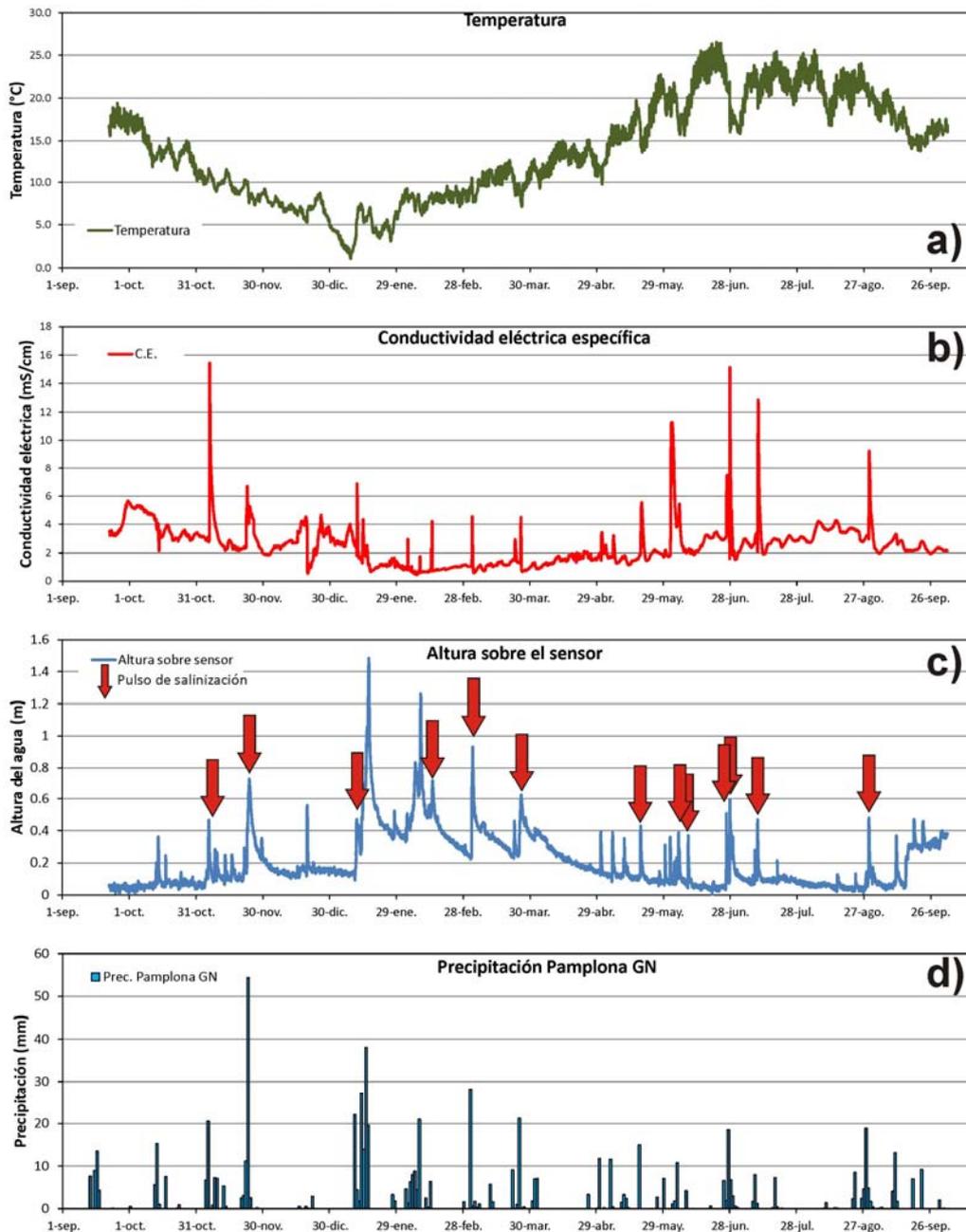


Figura 46. Variación temporal de la temperatura (a), conductividad eléctrica específica (b) y nivel del agua con indicación de pulsos de salinización (c), registrado por un CTD-Diver en la estación SAICA de la Confederación Hidrográfica del Ebro en el río Elorz en Pamplona, y comparación con la precipitación diaria en la estación meteorológica del Gobierno de Navarra en Pamplona (d).

2.3. Balance de masas de solutos en aguas superficiales

Entre las técnicas de trazadores clásicas de mayor utilidad en hidrología y sencillez de aplicación están los balances de masas en ríos (Hem, 1980). Su principal uso es evaluar los cambios de la calidad del agua en masas de agua superficial debidos a descargas naturales o antrópicas (manantiales o afluentes). Se basan en combinar medidas de un trazador o contaminante que pueda considerarse conservativo en tres puntos seleccionados (aguas arriba y abajo de la descarga, y en la propia descarga) con una medida de caudal en uno de estos puntos para determinar los caudales de los otros dos términos del balance difíciles de medir. Si los caudales de un río están definidos por Q1, aguas arriba de una descarga, y Q3, aguas abajo de la misma, y el caudal de descarga es Q2, puede escribirse como:

$$Q1 + Q2 = Q3$$

El balance de masas de un trazador o contaminante ©, puede escribirse a partir de sus concentraciones medidas en los puntos en que se ha medido el caudal, como:

$$C1 \cdot Q1 + C2 \cdot Q2 = C3 \cdot Q3 \rightarrow C1 \cdot Q1 + C2 \cdot Q2 = C3 \cdot (Q1+Q2)$$

El uso de la técnica descrita se basa en que se conocen los tres términos C1, C2 y C3 y el caudal Q1, en cuyo caso la solución de un sistema compuesto por las dos ecuaciones anteriores permite calcular Q2 y Q3, éste último sencillamente como suma de Q1 y Q2.

En el presente trabajo se ha aplicado esta técnica a la concentración de Cl en el río Arga entre Pamplona y Puente la Reina, postulando que funciona como eje de descarga de las MASb de Alaiz y Andía, y por tanto del sistema de evacuación de salmuera en la primera de estas masas, para realizar un balance de solutos que permitiera evaluar los cambios de la calidad de sus aguas, identificar el tramo en el que se producen los aportes de sales, y discutir sobre su origen. El objeto es extraer toda la información posible para entender el funcionamiento del sistema de evacuación y evaluar su impacto en las masas de agua superficial y subterránea afectadas. Para ello es necesario disponer de medidas de los términos de concentración y caudal en una o varias ternas de puntos en las que puedan plantearse las ecuaciones de balance de masas.

Con ese objeto se programaron las seis campañas de medida de la conductividad eléctrica (CE) en varias estaciones del río Arga, aguas arriba y aguas abajo de las descargas de los principales manantiales de la zona, y en dichos manantiales. El uso de los valores de CE en lugar de las concentraciones de Cl, un ion conservativo, se justifica por la relación lineal que existe en este caso entre los valores de ambos parámetros, tanto para las aguas de los manantiales como para las de los ríos implicados, Arga y Arakil. Se ha comprobado que esta relación lineal se mantiene siempre en esta zona para valores de CE superiores a 400 microS/cm, que son los encontrados en varias de las campañas realizadas.

Como se verá en el capítulo de resultados, hay puntos clave del sistema estudiado en los que no existe medida de caudal y las medidas de CE sólo pueden utilizarse para realizar los balances de solutos previstos de forma aproximada. El caso más notable es el de los tres manantiales principales de la zona y el del río Arga en Puente la Reina. Este último se podría considerar el



punto final de salida del sistema hidrológico en estudio, incluyendo las masas de agua superficial y subterránea, en el que un balance de solutos serviría para conocer la masa de Cl que ha ganado el río Arga entre Pamplona y este punto, e identificar su origen. En el caso de los manantiales, los balances de Cl se han podido utilizar para su estimación aproximada.

2.4. Modelación hidrogeoquímica

Un aspecto al que se ha prestado la mayor atención en este trabajo es a la modelación de procesos de interacción agua-roca. La intervención de estos procesos no ha sido contemplada en los estudios previos recopilados, ni su efecto se había incluido en el modelo de funcionamiento hidrogeológico del sistema que debería explicar la evolución de la salmuera en el medio y la composición de las aguas de los manantiales. Sin embargo, es indudable que la salmuera evacuada reaccionará con la formación carbonatada a través de la cual es forzada a moverse siguiendo las líneas de flujo hasta su salida del acuífero, bien por descarga lateral o vertical hacia otra formación o hacia superficie.

Una de las principales conclusiones en estos estudios previos de POSUSA (IGME, 2004) es que las características físico-químicas de las aguas de los manantiales son diferentes a las de la salmuera industrial, y también a las de otras salmueras que pudieran derivarse del lavado de materiales eocenos o triásicos. Esto se interpreta como el resultado de que la naturaleza de sus sales es diferente, y se deduce que las aguas de los manantiales no se pueden explicar por una mezcla conservativa de aguas de las salmueras industriales con las de las aguas subterráneas dulces del entorno. En IGME (2004) se concluye, finalmente, que la evacuación de salmuera en los sondeos ha debido movilizar una salmuera preexistente, heterogénea en el espacio y en el tiempo, y distinta a la que procede de la fábrica, que estaría rellenando los poros de la formación geológica almacén en profundidad, por su alta densidad.

En todas estas hipótesis hay contenido un modelo conceptual geoquímico de extrema complejidad cuyo planteamiento debería ser apoyado por las observaciones de campo, o cuya viabilidad y validez podría ser confirmada con modelos geoquímicos a través de la comparación de sus resultados con los datos de campo. En el presente estudio se han revisado, en primer lugar, las hipótesis de partida de este modelo y los datos que las apoyan y, en segundo lugar, se han elaborado varios modelos geoquímicos para verificar dichas hipótesis, y comprobar si los resultados de su aplicación son coherentes con los datos observados en la naturaleza. En la modelación realizada se ha primado la robustez del modelo conceptual, por lo que para todos los cálculos se han utilizado las hipótesis más simples y valores medios de los parámetros, en búsqueda de una reproducción de las tendencias observadas en los manantiales.

Para elaborar esos modelos se han efectuado cálculos de especiación-solubilidad, de caminos de reacción (aproximación de problema directo) y de balance de masas (aproximación de problema inverso; e.g. Zhu y Anderson, 2002). Todos ellos han sido realizados mediante el código PHREEQC (Parkhurst y Appelo, 2013), cuya aplicación a la solución de problemas de contaminación de aguas y de predicción de su evolución a largo plazo está ampliamente contrastada y documentada en todo el mundo. La base de datos termodinámicos utilizada ha sido WATEQ4F, distribuida con PHREEQC y también suficientemente avalada por casos de aplicación

práctica. La utilización de otras bases de datos, específicas para soluciones concentradas, basadas en las ecuaciones de Pitzer, ha mostrado no tener influencia en los resultados. Sin embargo, dada la elevada salinidad de algunas de las aguas comprometidas en la modelación del sistema en estudio, que son salmueras de concentración hasta cinco veces superior a la del agua de mar, sí ha sido necesario corregir los valores de densidad en los cálculos de especiación-solubilidad, para estimar con mejor aproximación las actividades de las especies disueltas y los estados de saturación del agua con relación a los diferentes minerales presentes.

El objeto buscado por los modelos ha sido reproducir los cambios geoquímicos observados en las aguas de los tres manantiales salinizados. Para ello se han realizado tanto cálculos de caminos de reacción (modelización directa) como de balance de masas (modelización inversa) en los que se han considerado reacciones de disolución-precipitación (respecto a fases carbonatadas, yeso y halita), de intercambio catiónico (tratado mediante el convenio de Gaines-Thomas en PHREEQC) y de mezcla binaria entre las aguas involucradas en los cálculos.

En los casos de modelación directa se indican las proporciones de mezcla de los polos considerados (las aguas de recarga y las salmueras en el punto de evacuación) y los procesos de disolución-precipitación e intercambio catiónico considerados para obtener una predicción de las aguas resultantes (las aguas de descarga del sistema en los manantiales). Estos resultados se han comparado con las composiciones observadas desde hace cinco décadas. En los casos de modelización inversa, conociendo la composición de los polos que intervienen en la mezcla, la del agua resultante y los procesos de interacción agua-roca que han intervenido, se calculan las proporciones de mezcla y las transferencias de masa asociadas a los procesos heterogéneos considerados.

En ambas aproximaciones se definen varias restricciones que aplican, sobre todo, a la lista de fases minerales y a la composición de los intercambiadores catiónicos activos en el acuífero. En la modelación inversa se debe restringir también la incertidumbre de los cálculos, normalmente a un valor de 0.05, que especifica que todas las concentraciones pueden variar $\pm 5\%$. Con estos datos, además de las proporciones de mezcla entre los polos considerados, el modelo proporciona las transferencias de masa, de modo que los valores positivos indican disolución o liberación y los negativos precipitación o retención. De este modo pueden evaluarse varias reacciones tanto en cuanto a su viabilidad como en cuanto a su alcance, qué minerales se disuelven o precipitan en mayor grado.

En los casos de modelación inversa se ha elegido el agua del manantial de Etxauri en 2016-2017 como solución “objetivo” desde la que realizar los cálculos “hacia atrás”, y representativa de un punto avanzado en la evolución geoquímica de las aguas del acuífero afectadas por los procesos de salinización que se observan en los tres manantiales. Esta aproximación se ha utilizado en paralelo a la modelación directa, con la finalidad de: 1) confirmar, bien antes o después de ella, la viabilidad de las reacciones consideradas en los modelos directos; 2) afinar los cálculos de los modelos directos; 3) ampliar el número de modelos alternativos que podrían producir los mismos resultados aplicando diferentes reacciones antes de programar el modelo directo correspondiente; y 4) adquirir mejores criterios de selección de los modelos más probables entre aquellos que reproducen con aproximación suficiente los resultados observados en el caso de estudio.



3. RESULTADOS

3.1. Balance de masas en el río Arga

En la zona estudiada, el río Arga constituye el eje que capta los aportes de sales disueltas procedentes de la ciudad de Pamplona, de sus afluentes (ríos Elorz, Juslapeña y Arakil), y de las descargas de las MASb de Alaiz y Andía, y por tanto del sistema de evacuación de salmuera que se efectúa en la primera de ellas.

En el presente trabajo se han elaborado los valores de CE y caudal medidos en el río Arga y en los puntos de descarga al mismo en forma de balance de solutos con objeto de conocer el origen y la cantidad de las aportaciones de sales que reciben. Para ello, se ha evaluado la información disponible para postular, en primer lugar, todas las fuentes susceptibles de contribuir al balance de sales, en segundo lugar, seleccionar los puntos en los que tiene interés y puede aplicarse el balance de solutos, y por último, rechazar todos aquellos datos que no cumplieran los requisitos impuestos para su validez. Como resultado de esta evaluación se han seleccionado dos tramos del río Arga en los que la cantidad de información y las incertidumbres asociadas, principalmente a la medida del caudal, condicionan la aplicación de esta técnica y sus resultados. El primer tramo está comprendido entre Ororbia y Etxauri, en el que se deja fuera la afección de la ciudad de Pamplona y en el que se puede abordar la estimación de los caudales de los manantiales de Ibero y Etxauri. El segundo tramo está comprendido entre Etxauri y Puente la Reina, y en él se aborda la estimación del caudal del manantial de Belascoáin. En ambos tramos se intenta también identificar la presencia de cualquier aporte adicional de sales al río.

En una primera aproximación, se asume que la distribución utilizada para los puntos de medida garantiza que los aportes adicionales de sales al río no puedan quedar enmascarados en las descargas de los principales manantiales, dado que se observarían cambios en la CE del río Arga que no corresponderían ni con las zonas de descarga de los manantiales, ni con los valores esperados de su aportación. De este modo sería posible identificar aportes extraordinarios no identificados anteriormente. En cualquier caso, las descargas muy próximas a los manantiales quedarían evaluadas en el cálculo de los caudales de estos y no afectarían a la estimación de la aportación de sales al río Arga, a la identificación de la zona en la que se producen, ni a la elaboración de hipótesis sobre su origen.

En el primer tramo se dispone de datos de CE en todos los puntos donde se realiza el balance de sales, y se tienen medidas de caudal, o éstos se pueden estimar con buena aproximación, en todos los casos, por lo que es posible realizar un análisis cuantitativo. La aportación de salinidad al río por parte de los manantiales de Ibero y Etxauri es notable en todas las campañas en este tramo (Figuras 33 a 38), lo que es coherente con la constancia de su descarga y el valor de la CE de sus aguas. No obstante, en épocas de caudales elevados la contribución del manantial de Ibero, que se hace patente a través del río Arakil, provoca un aumento de salinidad casi inapreciable en el río Arga, como ocurrió en febrero de 2017, o incluso dilución como ocurrió en marzo de 2017.

Las ecuaciones del balance de solutos utilizadas en el tramo entre Ororbía y Etxauri para las seis campañas son similares a las que se muestran a continuación para el ejemplo de la Figura 47 con los valores del muestreo de septiembre de 2016:

$$592 \cdot Q_{AO} + 404 \cdot Q_{AS} + 7070 \cdot Q_{MI} = 675 \cdot (Q_{AO} + Q_{AS} + Q_{MI})$$

$$675 \cdot (Q_{AE} - Q_{ME}) + 4920 \cdot Q_{ME} = 796 \cdot Q_{AE}$$

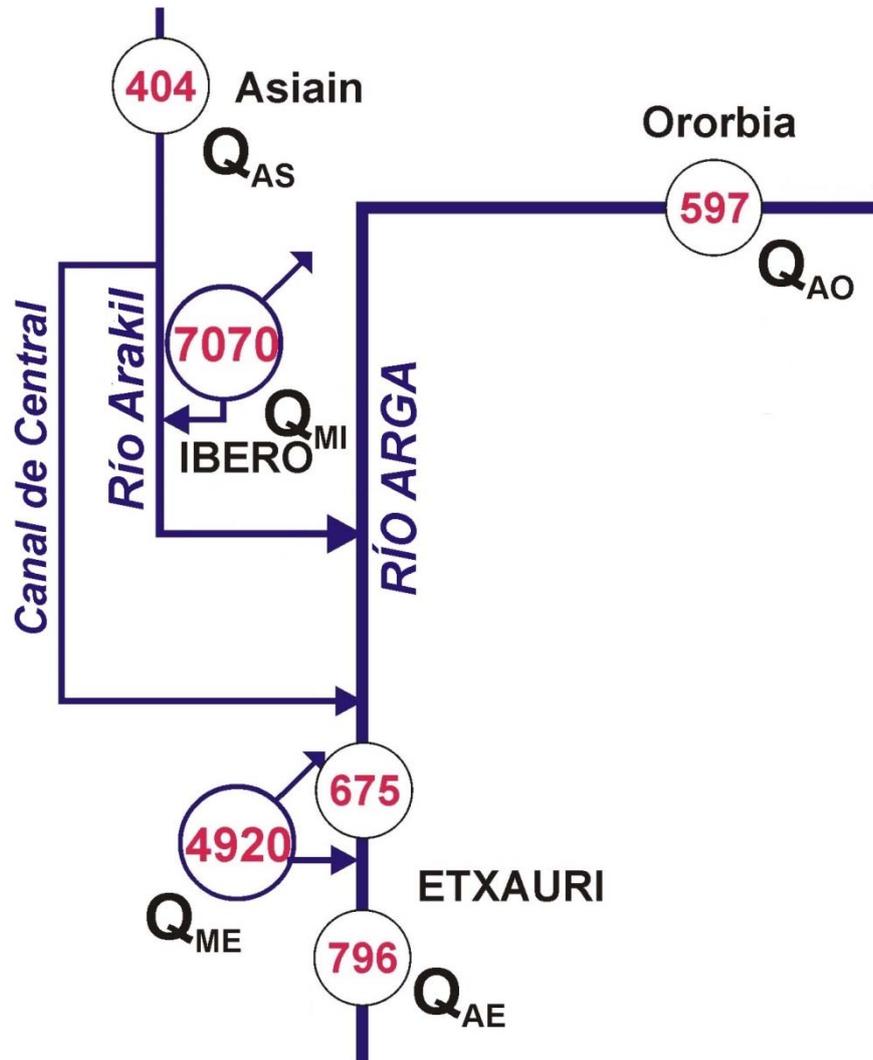


Figura 47. Tramo del río Arga entre Ororbía y Etxauri en el que se han realizado un balance de masas para el cálculo de los caudales de los manantiales de Ibero y Etxauri. Los valores de CE corresponden al muestreo de septiembre de 2016. Q_{AO} = Caudal del Arga en Ororbía (corresponde al caudal del Arga en la estación de aforo de Arazuri más el caudal de desagüe de la depuradora de Pamplona), Q_{AS} = Caudal del Arakil en Asiain, Q_{MI} = Caudal del manantial de Ibero, Q_{AE} = Caudal del Arga en Etxauri, y Q_{ME} = Caudal del manantial de Etxauri.



En estos cálculos se ha considerado que las aportaciones al balance de sales en el río Arga procedentes de los pequeños arroyos de su margen izquierda y del río Juslapeña son despreciables por su bajo caudal. Sí se han tenido en cuenta las aportaciones de caudal de la depuradora de Pamplona, a la hora de calcular el caudal del río Arga en Ororbia, donde se realiza la medida de la CE, como suma del caudal del Arga en la estación de aforo de Arazuri y el caudal de desagüe de esta depuradora. Su aportación de sales ya está tenida en cuenta por la medida de la CE en dicho punto.

Durante las campañas de marzo y junio de 2017, se realizó un reconocimiento de campo en la margen izquierda del río Arga en este tramo, y se midieron los valores de la CE en los pequeños arroyos que se encontraron. Estos valores, que se presentaron en las figuras 36 y 37, muestran que las concentraciones de sales de estos arroyos no son despreciables, si bien su efecto en el río Arga debe ser pequeño, comparado con el de los manantiales, porque sus caudales son pequeños, sobre todo en época de estiaje, y no son constantes. Estas aportaciones ponen de manifiesto, no obstante, un aspecto relevante sobre el uso del suelo y la gestión de la calidad de las aguas de las cuencas de esos arroyos, como es la existencia de escombreras salinas en sus áreas de aportación, cuyos lixiviados por el agua de lluvia no son recogidos por los sistemas de drenaje operativos por parte de POSUSA.

Los caudales estimados según este método para ambos manantiales se recogen en la Tabla 11. Los valores estimados en septiembre y diciembre de 2016 y octubre de 2017 son los más fiables, ya que cumplen con el requisito impuesto de que exista correlación lineal entre los valores de la CE y la concentración de Cl. Este requisito no se cumple para los caudales estimados en febrero y marzo de 2017, que están sujetos a mayor incertidumbre, dado que en esas fechas el río Arga, que llevaba mayor caudal (Figura 48), tenía un valor de CE próximo a 400 $\mu\text{S}/\text{cm}$, valor limitante del requisito mencionado. En este caso habría sido necesario disponer de medidas de concentración de Cl, para poder realizar el balance de masas sobre este ion, eliminando las posibles contribuciones de otros constituyentes mayoritarios al balance de sales si éste se realiza con valores de la CE. Los datos de la campaña de junio de 2017 no han podido ser utilizados para estimar los caudales de estos manantiales por haberse realizado las medidas de parte de este tramo en un período de dos días, en mitad de los cuales se produjo el aumento brusco de caudal y CE, de modo que los datos de CE y caudal del primero y segundo día reflejan situaciones hidrológica distintas (Figura 37).

Caudales estimados				
Man. Ibero		Man. Etxauri		TOTAL
Fecha	Caudal (l/s)	Fecha	Caudal (l/s)	(l/s)
21/09/2016	137.80	21/09/2016	128.27	266.07
14/12/2016	230.62	14/12/2016	97.27	327.89
08/02/2017	427.50	08/02/2017	625.83	1053.34
15/03/2017	190.47	15/03/2017	778.07	968.54
04/10/2017	167.50	04/10/2017	116.12	283.62

Tabla 11. Caudales estimados para los manantiales de Ibero y Etxauri por balance de masas en el río Arga

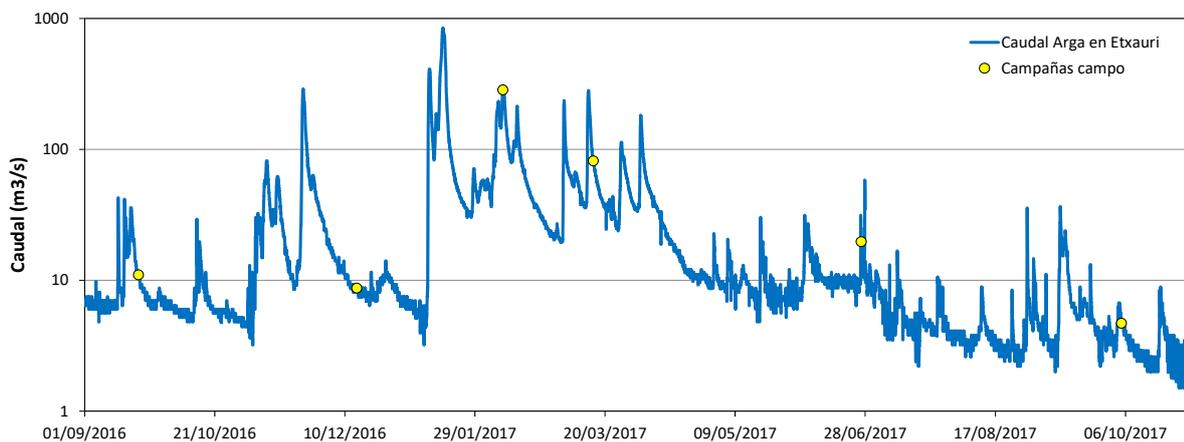


Figura 48. Campañas de medida de CE para balances de masas sobre la evolución del caudal del río Arga en la estación 9069 (Etxauri)

Los valores de caudal obtenidos con estos balances de CI en los manantiales del Arga son similares a los obtenidos por balances de agua en el mismo río en DFN (1982), pero son mayores en un orden de magnitud a los propuestos por IGME (2004). Estas diferencias, unidas a la falta de información en épocas de aguas altas, pone de manifiesto la necesidad de aforar los manantiales de Ibero y Etxauri en diferentes situaciones hidrológicas para tener un cálculo más aproximado de sus aportaciones de sales y de otras posibles aportaciones adicionales en el tramo estudiado del río Arga. No obstante, de ser éstas relevantes se habrían puesto de manifiesto en valores anómalos de la CE en alguno de los puntos de medida.

Por otro lado, aunque no es objeto del presente trabajo, debe resaltarse que los datos obtenidos muestran que el aporte de sales del río Elorz al río Arga, es notable en todas las campañas. Destaca el impacto que motiva el río Elorz en la salinidad del río Arga en junio de 2017, fecha en la que coincidieron valores elevados de caudal y de CE en este afluente. La realización de



balances de solutos sobre estas aportaciones podría ser de interés para completar las series de información de las diferentes redes de vigilancia de la calidad del agua y para evaluar los datos que éstas aportan.

En el segundo tramo, no existe información de caudal en algunos puntos clave, como es el caso de Puente la Reina, lo que impide cuantificar con precisión los balances de Cl. No obstante, sí es posible realizar cálculos aproximados de los que obtener información relevante.

En primer lugar, se observa que los valores de la CE en puntos situados inmediatamente aguas arriba y aguas abajo del manantial de Belascoáin, son similares entre sí para todas las campañas realizadas, lo que permite concluir que el caudal de este manantial es pequeño.

En segundo lugar, dado que no se han identificado afluentes importantes en este tramo del río Arga en ninguna de sus márgenes, en una primera aproximación podía considerarse que el aumento de salinidad que pudiera observarse en este tramo sería atribuible a aportes de aguas subterráneas, desde el manantial de Belascoáin o desde otros puntos no identificados previamente.

La situación observada ha sido diferente en las seis campañas, pero prescindiendo en este tramo de las campañas realizadas en aguas altas de febrero y marzo de 2017, en las que el método del balance de Cl no es aplicable, se observa en general un aumento de la salinidad del río Arga entre Etxauri y Belascoáin (diciembre de 2016, y junio y octubre de 2017) y una disminución entre Belascoáin y Puente la Reina (salvo en septiembre de 2016 en que ocurre el efecto contrario). Estas variaciones no son achacables al manantial de Belascoáin, por su ubicación y su cuantía, y sugieren la existencia de aportaciones y diluciones de sal en este tramo no identificadas previamente. Es importante resaltar que el aumento de salinidad observado en este tramo, pese a la existencia de un único manantial identificado (Belascoáin) de bajo caudal relativo, es del mismo orden de magnitud que el observado en el primer tramo, entre Ororbía y Etxauri.

El aumento de salinidad observado en septiembre de 2016 entre Belascoáin y Puente la Reina en este trabajo fue también observado por IGME (2004) en un perfil hidroquímico realizado en septiembre de 2003, al final del estiaje, en este sector del río, y propuso que deben existir, "...entre Belascoáin y Puente la Reina, descargas hacia el río Arga significativas, de tipo difuso, que escapan de la fosa del Perdón, a través del juego de fracturas de cuya existencia da fe la llamativa lineación suroeste que presentan los barrancos que bajan de la sierra del Perdón".

Los datos obtenidos en el presente trabajo muestran una variabilidad de la salinidad del río Arga en este tramo que dificulta, sin embargo, su asignación a un aporte difuso de aguas subterráneas, ya que ésta mostraría una cierta constancia. Esto plantea la conveniencia de revisar la posible existencia de aportes naturales o artificiales en este tramo, que parece que pueden ser tanto de mayor como de menor salinidad que la del río Arga en función del tiempo. La interpretación correcta de estos valores requiere, no obstante, disponer de medidas simultáneas de caudal y concentración de Cl en Puente la Reina.

La información obtenida en este apartado se ha utilizado en un último cálculo o balance final, en el que se ha pretendido la estimación de la cantidad de salmuera industrial que podría estar

descargando en estos manantiales, y en el río Arga, si su salinidad tuviera este origen como único o mayoritario. Para ello se ha comparado la concentración de Cl observada en los manantiales y en el río Arga con la que produciría la mezcla conservativa de la salmuera de evacuación con las aguas subterráneas en la descarga de esos manantiales y con las aguas del río Arga hasta su salida del sistema en Puente la Reina. La estimación se ha realizado para dos fases distintas de operación del sistema de evacuación: una primera correspondiente a la fase de explotación minera y fabricación de sales principalmente potásicas (1960-1998), y una segunda correspondiente a la fase de restauración ambiental y beneficio de las escombreras para fabricación de sal común (1999-2017). Debe destacarse la limitación de estos cálculos, en los que se representa como estacionario un régimen que es realmente dinámico.

Los datos utilizados para estos cálculos son: a) los valores de caudal y concentración media de Cl de la salmuera aportados por POSUSA para estos períodos, presentados en el apartado 2.1.3, y que corresponden, respectivamente, a 50 l/s y 100 g/l de Cl para la primera fase, y 20 l/s y 130 g/l de Cl para la segunda fase; b) el valor de la concentración de Cl de los manantiales de Ibero y Etxauri de 0.5 g/l, correspondiente al valor medido en 1966, antes de su afección, y 1 g/l medido en 1989, al cierre de la primera fase; y c) el caudal medio de los manantiales, al que se ha asignado un valor de 1000 l/s, doble del estimado en los balances de masas realizados en este trabajo para los momentos de estiaje.

Con estos supuestos, la diferencia entre el aumento de salinidad medido en los manantiales (1 g/l de Cl en 1989) frente al estimado de 5.2 g/l sería coherente con una descarga del 25% del total de la masa de salmuera industrial evacuada en la primera fase. El porcentaje de mezcla en volumen de salmuera sería del 5%. En la segunda fase, en la que la diferencia observada es de 1.7 g/l de Cl medidos en 2017 frente a 3.5 g/l de Cl estimados, el porcentaje de la masa de salmuera descargada a través de los manantiales ascendería al 50%, aunque la mezcla en volumen con el agua de los manantiales sería del 2% (Figura 49).

Estos cálculos pueden extenderse al río Arga, de modo que en una primera aproximación, suponiendo que todo el aumento de salinidad observado entre Ororbía y Puente la Reina tuviera su origen en la salmuera industrial que descargaría al río a través de fracturas después de su evacuación al acuífero, en la situación actual la cantidad de salmuera que estaría siendo aportada al río sería del 100% de la evacuada. Estas estimaciones proporcionan un orden de magnitud del proceso de salinización de los manantiales y del río Arga en esta zona y permiten plantear el modo de confirmar diferentes hipótesis sobre su origen, que requeriría ampliar la información sobre los caudales de los manantiales en épocas húmedas y del río Arga en Puente la Reina para precisar las cifras.

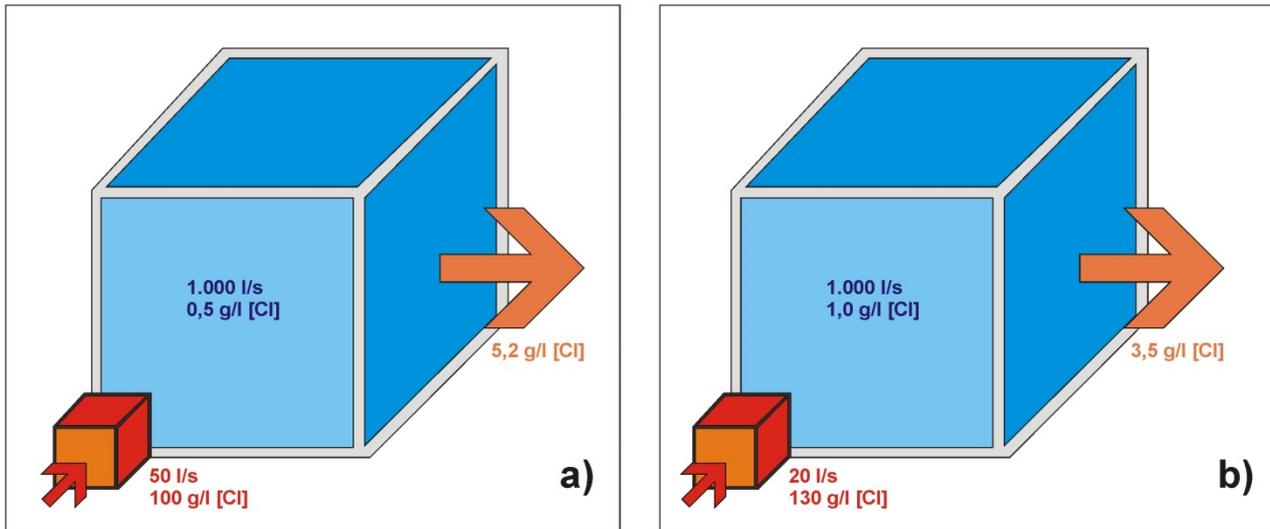


Figura 49. Estimación de la concentración de Cl de la mezcla conservativa de la salmuera de evacuación con las aguas subterráneas para dar lugar al agua de los manantiales en: a) período 1960-1998 de explotación minera y fabricación de sales potásicas, y b) período 1999-2017 de restauración ambiental y beneficio de las escombreras para fabricación de sal común.

3.2. Revisión del modelo conceptual de flujo

En este apartado se debe describir el modelo conceptual elaborado por IGME (2004) para POSUSA para explicar el flujo del agua subterránea en la MASb de la Sierra de Alaiz y el movimiento de la salmuera evacuada en su seno, en la fosa del Perdón, así como el origen del agua de los manantiales salinizados del río Arga, dado que es el que está aceptado implícitamente en la gestión de los recursos hídricos de la zona. Para ello, se dan los detalles oportunos que permitan su comprensión, se identifican los aspectos que no están apoyados por las observaciones de campo, tanto las antecedentes como las realizadas en este trabajo, o son contradictorios con ellas, y se proponen otras hipótesis que podrían resolver esas carencias.

Según IGME (2004), en el acuífero carbonatado de la masa de agua de la Sierra de Alaiz se distinguen dos sistemas de circulación, uno somero y otro profundo. El sector somero sería más “activo”, es decir, los tiempos de tránsito del agua subterránea en el acuífero serían cortos, la circulación rápida y la mineralización de las aguas débiles. En el sector profundo o “pasivo”, el flujo estaría casi estancado, por lo que los tiempos de tránsito serían muy altos, y la interacción roca-agua propiciaría la elevada mineralización de las aguas.

Esta sectorización no se produce sólo en la vertical, sino también en la horizontal, ya que el informe propone que según esta otra dirección, hay un sector “activo” que coincidiría con la Sierra de Alaiz, el anticlinal de Zabalegui, y una amplia zona comprendida entre el río Arga y la vertiente septentrional de la Sierra del Perdón, que se recargaría en la Sierra de Alaiz y cuyo flujo sería desde esta Sierra hacia el N y luego al O, a lo largo del eje anticlinal, hasta ser interceptado por la

falla de Etxauri, que constituye un dren de toda esa zona, y descargaría finalmente en los manantiales de Ibero y Etxauri. El sector “pasivo” se ubicaría al S y al O del anterior, en la fosa del Perdón, que se describe como “una estructura geológica interpuesta entre las zonas de recarga y descarga en la que la formación acuífera se confina a elevada profundidad sin más salida que la que le procuran eventuales fracturas que rompen el confinamiento en su sector occidental y suroccidental. Esto introduce una zonación química en el acuífero, por lo que se detectan aguas dulces en el sector oriental y septentrional, ligado a la zona hidrodinámica más activa, y aguas salinas en la fosa, como consecuencia del sistema de flujo lento instalado en la misma”.

En la descripción de la geometría del acuífero que se presenta en otro apartado del mismo informe de IGME (2004), se admite que es posible que las calizas de la fosa no tengan continuidad física con el borde sur porque el salto de la falla de Beriain es de unos 600 m, pero se dice que la falla de Esparza, al tener un salto de 300 m, no permite el aislamiento de los niveles calcáreos y por lo tanto existe continuidad en el contacto entre las calizas a un lado y a otro de la misma. Se asigna así un papel conductor a las fallas de Etxauri y Belascoáin, se supone que la falla de Beriain constituye un límite impermeable, y se interpreta que la falla de Esparza no produce desconexión en el acuífero.

IGME (2004) propone también que estos dos sistemas de flujo comparten la zona de descarga con las aguas infiltradas en la MASb de la Sierra de Sarbil, dado que “la falla de Etxauri, en cuya proximidad se encuentra los grandes manantiales de la cuenca, hace las veces de gran dren colector que intercepta: a) las aguas de la margen derecha del río Arga, transportadas por un sistema de flujo tridimensional auspiciado por la relativa proximidad de las áreas de descarga y emergencia y por la diferencia de cotas entre ellas, en el que las líneas de flujo más profundas adquieren carácter salino por influencia de las evaporitas de Keuper de los diapiros adyacentes; b) los sistemas de fracturas de dirección NO que controlan el estadio final del flujo de agua dulce proveniente de la sierra de Alaiz; y c) las fracturas del sector Undiano-Belascoáin, mediante las cuales se rompe el confinamiento de las aguas salinas y termales de la fosa del Perdón.” Propone también, haciendo uso de la información sobre la composición isotópica de las aguas de los manantiales salinizados, que la Sierra de Sarbil constituye incluso la componente más importante de la aportación a estos manantiales, siendo menor el aporte desde la Sierra de Alaiz. Esta hipótesis es coherente con los datos isotópicos obtenidos en este estudio.

IGME (2004) encuentra indicios de la existencia del sector “pasivo” en: 1) el termalismo del manantial de Belascoain; 2) los elevados niveles del agua encontrados en los sondeos de vertido antes de su operación, que “imponen la exigencia de que existan aguas de elevada densidad” para explicarlos; y 3) la necesidad de invocar “una componente salina preexistente, hasta ahora no detectada,...que necesariamente proviene del flujo subterráneo de la margen izquierda del río Arga” para explicar la evolución química en las principales descargas del acuífero como mezcla de dos fuentes distintas de salinidad, una fuente es la salmuera, ya mencionada, “de origen desconocido que no coincide con la salmuera evacuada, pero que muestra una indudable relación hidráulica (que no química) con aquella, al incrementar su participación en la mezcla en relación directa con el volumen inyectado, y la otra está relacionada con el flujo subterráneo a través de materiales evaporíticos”.

Este modelo geológico e hidrogeológico explica una parte importante de los problemas que plantean la composición y la estructura de este acuífero y la identificación de sus zonas de recarga y descarga, como es el caso de la mayor contribución de la Sierra de Sarbil (en la MASb de la Sierra de Andía) a la recarga de los principales manantiales del río Arga. Sin embargo, tiene una serie de contradicciones, sobre todo sobre el papel hidrogeológico de la fosa del Perdón y de las fracturas que la limitan, que deben reconocerse:

- La conexión hidráulica que se supone que existe a través de la falla de Esparza no es coherente con la existencia de un sector “pasivo” al S de la misma, ya que esa conexión habría facilitado su incorporación al sistema de flujo. También habría facilitado su lavado y la presencia de aguas dulces a ambos lados de la falla.
- De hecho, el modelo no resuelve las observaciones encontradas en los informes de construcción de los sondeos petrolíferos, en todos los cuales se detectaron aguas dulces a cualquier profundidad en el acuífero carbonatado Paleoceno-Eoceno, al igual que ocurrió en las pruebas hidráulicas iniciales realizadas en los sondeos perforados para la evacuación de salmuera.
- Este modelo deja sin explicar el origen de la salmuera “desconocida” y no aclara qué formaciones geológicas pueden estar implicadas en su génesis, que deben ser además distintas de las evaporitas del Triásico y del Eoceno, y que no se han descrito anteriormente en una zona conocida en detalle por la explotación de sales.

En cuanto al funcionamiento hidrogeológico del sistema de evacuación, postula que la salmuera se evacúa en un sector muy tectonizado de la fosa del Perdón, con transmisividades superiores a 5000 m²/día, y que esto sugiere que: 1) “el acuífero se comporta como un medio de doble porosidad”; 2) “el movimiento de la salmuera está regido por los gradientes verticales que introduce su alta densidad”; y 3) “su propagación está controlada por la batimetría del muro impermeable del acuífero antes que por los gradientes hidráulicos creados por la inyección, por lo que se estima que ésta tiende a desplazarse en dirección SO para quedar confinada a más de 2000 metros de profundidad”. El informe añade que es incluso probable que, en esta zona de evacuación debido a la intensa tectonización, los niveles margo-arcillosos del Cretácico superior no introduzcan barrera hidráulica en profundidad, lo que facilitaría la migración vertical descendente de la salmuera.

Este modelo asume, pues, que en este acuífero, de doble porosidad, la salmuera evacuada es transportada, en primer lugar, por un flujo vertical descendente forzado a través de fracturas, y después, en profundidad, de forma difusa a través de la porosidad primaria de las calizas. Al mismo tiempo, la “tercera salmuera” es forzada desde abajo a seguir, primero, un flujo difuso a través de la porosidad primaria del acuífero, y después un flujo a través de fallas o conductos kársticos hasta descargar en los manantiales. Los volúmenes de acuífero afectados por este proceso y los tiempos necesarios para que esta nueva situación pudiera observarse en superficie serían grandes y, sin embargo, la afección observada ha tenido lugar en unos pocos años desde el inicio de la evacuación de salmuera. Por otro lado, los datos de actividad de tritio y de ¹⁴C (éste último corregido con los valores de δ¹³C en el carbono inorgánico disuelto) en las aguas de los manantiales indican la existencia de un flujo rápido y la escasa participación de un flujo lento con alto tiempo de residencia en el acuífero.

La interpretación dada por IGME (2004) pasa por alto, además, algunas observaciones importantes sobre la ubicación y las propiedades hidráulicas de los sondeos. En primer lugar, algunas contenidas en su propio informe, donde reconoce que el sondeo S-2 atraviesa la falla de Esparza a 1174 m de profundidad. En segundo lugar, y en el mismo sentido, según la información facilitada por POSUSA la representación de los sondeos de evacuación sobre la cartografía geológica evidencia que éstos captan en profundidad la falla de Esparza, alineada con los manantiales salinizados. Esto explica los elevados valores de la permeabilidad encontrados en la mayor parte de estos sondeos y cómo estas características se pierden a poca distancia del trazado de esta falla. Tal y como se describe en el propio informe de IGME (2004), “se tiene conocimiento de un sondeo ubicado al norte de la falla de Esparza y, por tanto fuera de la fosa en la que se sitúan los anteriores, que alcanzó las calizas eocenas, pero sin permeabilidad”. Sin embargo, las propiedades hidráulicas de los materiales acuíferos deben mantenerse a un lado y otro de las fallas, en zonas menos afectadas por la facturación, ya que corresponden a la misma formación con la misma litología.

Una hipótesis alternativa, o una modificación importante del modelo, a considerar sobre el funcionamiento del acuífero y del sistema de evacuación en la fosa del Perdón es que el flujo se produzca en su mayor proporción a través de fracturas o conductos kársticos. De hecho, esto es más coherente con los datos obtenidos de los sondeos en la zona, y con el modelo de acuífero que proponen otros estudios previos (DFN, 1982), según los cuales la distribución de la permeabilidad está asociada a la fracturación y sólo se puede asignar un cierto potencial de explotación en este acuífero en las zonas de falla. Esta dificultad del flujo difuso frente a la facilidad del flujo preferente en fracturas o canales es un aspecto relevante que afecta plenamente a la capacidad del medio como almacén, al modo de transporte de la salmuera evacuada y a su tiempo de tránsito en el acuífero. La rapidez de la afección sugiere más una reducida capacidad de almacenamiento, ligado principalmente a las zonas de fallas, y un transporte preferente a través de fracturas o conductos kársticos, en consonancia con este modelo modificado.

Las diferencias encontradas en la composición química de las aguas de los tres manantiales mencionados se pueden explicar por la existencia de una conexión distinta entre las fallas y los sectores del acuífero que afectan a cada uno de ellos, que motive una diferente proporción en la cantidad de flujo que proviene de una y otra margen del río Arga, y originalmente de las sierras de Sarbil y de Alaiz, pero no cuestiona los aspectos principales del nuevo modelo propuesto en este informe.

Es importante señalar que, para poder abordar la modelación geoquímica, es un requisito imprescindible tener una hipótesis de partida sobre la dirección de las líneas de flujo en el acuífero sobre las que postular las reacciones que afectan a la composición de las aguas. De hecho, la evaluación de este modelo se hace por comparación de sus resultados con las aguas encontradas a lo largo de dichas líneas de flujo.

3.3. Revisión del modelo conceptual hidrogeoquímico

El modelo propuesto por POSUSA (IGME, 2004) para explicar el incremento significativo de salinidad observado en los manantiales del borde O de la MASb de la Sierra de Alaiz, coincidente con el proceso de evacuación de salmuera en su extremo oriental, postula que existe una relación directa entre ambos procesos, pero que la evacuación de salmuera en los sondeos ha debido movilizar una salmuera preexistente y distinta a la que se evacúa, heterogénea en el espacio y el tiempo, que estaría rellenando los poros de la formación geológica almacén en profundidad. Ese informe hace referencia a esta salmuera como una “tercera salmuera”, dado que sus características químicas no parecen corresponderse ni con las de la salmuera de evacuación, con origen en las sales eocenas, ni con la de los diapiros triásicos cercanos. Esta hipótesis, dado que esta salmuera no había sido encontrada, se apoya en las siguientes observaciones indirectas:

- Los índices derivados de relaciones iónicas en las aguas de los manantiales son diferentes a los de la salmuera industrial y de otras salmueras derivadas de lavado de escombreras y materiales triásicos.
- Las relaciones iónicas observadas en los tres manantiales son muy diferentes entre sí, lo que se interpreta como que la naturaleza de sus sales es también diferente.
- El tratamiento gráfico de los datos hidroquímicos mediante diagramas de Piper muestra que las aguas de los manantiales no se pueden explicar por una mezcla directa de aguas de las salmueras industriales con las de las aguas subterráneas dulces del entorno.
- El río Arga muestra un incremento de salinidad desde los manantiales hasta su salida de la masa de agua subterránea del mismo tipo que la de los manantiales y, por tanto, tampoco se ajusta a los resultados de esta posible mezcla.
- No se ha encontrado, en las salmueras que se gestionan en la actualidad ni en los manantiales, indicadores orgánicos que puedan ser utilizados como trazadores de los procesos industriales de fabricación de sales.
- Los resultados de análisis de isótopos estables indican que el agua que alimenta los manantiales está fundamentalmente constituida por un agua de origen montañoso, mientras que el impacto de las salmueras se marcaría por el efecto de la evaporación que han debido sufrir estas aguas en origen, por su almacenamiento en balsas.

Todas estas observaciones ponen de manifiesto que un modelo de mezcla conservativa de dos polos, agua del acuífero y salmuera clorurada-sódica, tiene problemas para explicar la evolución observada de la composición de las aguas de los manantiales, y que deben existir otros procesos o procesos adicionales a dicha mezcla. No obstante, el modelo propuesto por IGME (2004) plantea problemas no menos difíciles de resolver para explicar dicha evolución.

Una de las carencias que tiene la interpretación dada es que no está basada en información suficiente sobre la salmuera industrial, de la que sólo se presentan unos pocos análisis del año 2003. Esto hace difícil argumentar su falta de coincidencia con la evolución de la composición química de las aguas de los manantiales, de las que hay del orden de un centenar de análisis químicos para cada uno de los tres manantiales distribuidos en más de cincuenta años. Este aspecto se ha corregido en el presente trabajo mediante un esfuerzo adicional de recopilación de información, con el que se ha podido tener información de varios estudios en tres períodos

históricos (1986-1990, 2008-2009 y 2008-2016), así como mediante los análisis propios realizados durante un año hidrológico completo, 2016-2017, con periodicidad bimestral.

El mayor problema es, no obstante, la extrema complejidad que significa, desde el punto de vista geoquímico, reconocer la existencia de una “tercera salmuera” de origen desconocido y de composición variable en el espacio y en el tiempo. El propio informe reconoce que su justificación no es fácil, dado que “no puede corresponder al lavado de materiales triásicos ni eocenos”, que son las únicas formaciones evaporíticas descritas en la zona. Sin embargo, una discusión sobre diferentes hipótesis que expliquen la salinización de los manantiales del río Arga no puede hacerse con la única ayuda del tratamiento gráfico de los datos por lo que en el presente estudio, como se avanzó en el capítulo de Metodología, se ha abordado la modelación hidrogeoquímica de este sistema.

El objeto de la modelación es reproducir la composición química de los manantiales a partir de las aguas de recarga del acuífero y las propiedades geológicas e hidrogeológicas del mismo, mediante procesos coherentes con los datos de caracterización que se tiene de los mismos. En su elaboración se analizarán los efectos de la interacción de la salmuera industrial con las formaciones geológicas que atraviesa y su impacto en las aguas subterráneas, y se deberá explicar la existencia de esa tercera salmuera, si es que es una hipótesis necesaria y correcta.

Merece un último comentario la observación realizada por IGME (2004) de no haber identificado, en los análisis de las aguas de los manantiales del Arga, ningún constituyente orgánico de los utilizados en la fabricación de sales. Esta observación se ha repetido en el presente estudio a partir de los análisis de compuestos orgánicos persistentes realizados por TERRATEST para la CHE.

3.4. Modelación hidrogeoquímica de los manantiales del Arga

Utilizando como punto de partida las observaciones realizadas en los apartados anteriores sobre la caracterización del acuífero y del sistema de evacuación, para evitar las incertidumbres debidas a una caracterización pobre del sistema, se han definido: 1) el sistema de flujo a lo largo del cual se van a producir las reacciones químicas; 2) varios polos de un posible proceso de mezcla (salmueras, aguas del acuífero) que pudiera reproducir las aguas de los manantiales salinizados, y 3) una serie de minerales y reacciones plausibles en el acuífero que podrían modificar la composición de la salmuera o de la mezcla a lo largo de las líneas de flujo.

Posteriormente, se ha abordado la modelación combinando las ventajas de los métodos directo e inverso en dos pasos principales. En el primero, se ha tratado de reproducir la composición química de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno antes de su afección, con objeto de tener caracterizado el medio sin alterar. En el segundo, partiendo de la situación previa, se ha tratado de reproducir el proceso de salinización de los manantiales del río Arga por la evacuación de la salmuera procedente de la fábrica de POSUSA. En este segundo paso, se discuten la viabilidad y los efectos de considerar la presencia de otras salmueras diferentes a la de evacuación.

Debe recordarse que, como se puso de manifiesto en el apartado de Metodología, un aspecto importante de la modelación realizada es evaluar la robustez del modelo conceptual, por lo que se

han utilizado las hipótesis más simples y valores medios de los parámetros que intervienen en todos los cálculos, y no se han alterado durante la modelación en búsqueda de una reproducción óptima de las observaciones de campo, sino más bien una reproducción suficiente de las tendencias observadas en los manantiales. Sí se ha realizado, no obstante, un análisis de sensibilidad sobre el valor de los parámetros que son más críticos en los procesos considerados, como es el caso de la concentración de la salmuera industrial, que afecta al proceso de mezcla, y de la capacidad de intercambio catiónico (CIC), que afecta a la interacción agua-roca.

3.4.1. Consideraciones hidrogeológicas y termodinámicas

Sistema de flujo

El sistema de flujo considerado en el presente trabajo da prioridad a las fracturas y conductos kársticos sobre el flujo difuso, y asume que los manantiales salinizados reciben la mayor parte de la recarga de la Sierra de Sarbil y, quizá también, pero en mucha menor medida, desde la Sierra de Alaiz. Además asume que la evacuación de la salmuera se produce directamente sobre la falla de Esparza, que está alineada y conectada hidráulicamente con dichos manantiales.

Reacciones principales (mezcla, disolución-precipitación, e intercambio catiónico)

Los tres principales polos de mezcla identificados en el acuífero son:

- Las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno poco evolucionadas. Estas últimas se pueden hacer corresponder con:
 - 1) las aguas del manantial de Arteta, que son las menos mineralizadas, y representarían las de recarga originadas en la Sierra de Sarbil;
 - 2) las aguas del pozo de UNCONA, situado en la zona de recarga de la Sierra de Alaiz, si bien su contenido significativo en sulfatos y su situación hidrogeológica no les hacen candidatas, aparentemente, a participar en la evolución hidroquímica de las aguas de los manantiales del Arga;
 - 3) las aguas de los tres manantiales antes de su salinización, de los que existen datos de 1905 para Belascoáin y de 1966 para los tres manantiales, que representarían también una cierta evolución natural, determinada principalmente por la mezcla de las aportaciones provenientes de ambas MASb en una situación inalterada, previa a la afección por la evacuación de salmuera; y
 - 4) las aguas extraídas en el sondeo S-3 durante las pruebas de admisión en el sondeo S-6, que representarían las aguas recargadas en la Sierra de Alaiz, aunque ya evolucionadas en el seno de esta MASb. Podrían asignarse a este grupo también las aguas muestreadas por IGME (2004) y en este estudio en el tramo más superficial del piezómetro Ibero P-2 o incluso las muestreadas en su tramo más profundo, pero en este caso no puede garantizarse que no estén afectadas por la evacuación de salmuera, que llevaba años ocurriendo antes de su muestreo.
- Las salmueras o aguas subterráneas con largo tiempo de contacto con las evaporitas del Triásico, de las que existe un análisis de un manantial del diapiro de Salinas de Oro y otro

del río Salado, contenidos en IGME (2004), y varios análisis de las muestras de las aguas de un arroyo que nace en el núcleo de dicho diapiro tomadas por el CEDEX en 2016-2017.

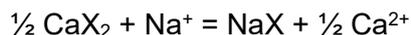
- Las salmueras de evacuación, para cuya caracterización se han completado los datos aportados por IGME (2004) a partir de tres fuentes de información:
 - 1) la nueva información aportada por POSUSA tanto de datos históricos (AURENSA, 1990) como recientes (GANASA, 2016),
 - 2) otros estudios previos que han incluido el muestreo y análisis de salmueras (GEOAQUA, 2009), y
 - 3) los muestreos y análisis realizados en este estudio entre 2016 y 2017.

El análisis de esta información realizado en el apartado de Recopilación evidenció la gran variabilidad de la composición química de esta salmuera en el largo período de operación de la minería y la industria de fabricación de sal. Con vistas a la modelación hidrogeoquímica, se conoce ahora mejor la incertidumbre sobre la composición de esta salmuera, lo que ha servido para seleccionar, como representativas de este polo de mezcla, varias salmueras en las que se han medido los valores extremos de concentración de constituyentes mayoritarios. La salmuera más salina corresponde a un muestreo de octubre de 2008 y su composición está tomada del informe de GEOAQUA (2009), y la salmuera menos salina y la de salinidad intermedia corresponden a muestras tomadas en el presente trabajo, de las que se dispone de análisis completos, incluidos los parámetros inestables medidos en campo.

Siempre que ha sido posible, para la modelación se han utilizado los datos de conductividad eléctrica, alcalinidad, temperatura, pH y Eh medidos en campo. En el resto de los casos se han usado los datos medidos en el laboratorio disponibles en las bases de datos recopiladas.

La información existente sobre la mineralogía del acuífero permite definir los principales minerales que intervendrían en las reacciones de disolución-precipitación en el acuífero, y cuya solubilidad participará en el control de los componentes disueltos en las aguas subterráneas. En este caso, coinciden con minerales que reaccionan rápido con el agua: calcita (CaCO_3), dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), anhidrita (CaSO_4) y halita (NaCl), comparado con el tiempo de residencia implicado generalmente para las aguas subterráneas.

Visto que el déficit de Na frente a Cl, observado durante un período significativo de tiempo en las aguas de los manantiales salinizados, sugiere la existencia de intercambio catiónico, se ha añadido este proceso a las reacciones de mezcla y disolución-precipitación, cuya forma para los cationes Na y Ca, por ejemplo, es la siguiente:



Con PHREEQC se han considerado el resto de procesos de intercambio catiónico. Este intercambio es plausible en acuíferos carbonatados, en cuya mineralogía, además de calizas o dolomías de gran pureza, se encuentra un porcentaje de arcillas o intercalaciones margosas, como es el caso del acuífero Paleoceno-Eoceno, que tienen capacidad de cambio catiónico. Esta capacidad puede incrementarse en zonas de fracturación o conductos kársticos, en los que suelen concentrarse las arcillas y otros minerales de menor solubilidad como rellenos fisurales. La

importancia de los procesos de intercambio se ha puesto de manifiesto en el estudio de acuíferos carbonatados (Plummer, 1984) y de problemas de contaminación de aguas subterráneas en otras zonas de minería de sales (Lucas et al., 2010).

Dada la dificultad de caracterizar la capacidad de intercambio catiónico de estas intercalaciones y, especialmente, de los rellenos fisurales, y dado que este trabajo no estaba contemplado en los objetivos de este estudio, se ha seguido otra estrategia para ello, que ha consistido en calcular las composiciones teóricas de un intercambiador genérico en equilibrio con las aguas representativas del acuífero Paleoceno-Eoceno antes de su afección. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 12. La composición del agua procedente del sondeo S-3, cuyo análisis es incompleto, se han simulado suponiendo que esta agua estaría en equilibrio con calcita y usando valores de pH cercanos a 7 y de concentración de sulfato entre 40 mg/l y potasio de 1 mg/l similares a los encontrados en los manantiales en 1966.

	Fracción Equivalente				
	Agua inicial S-3	Manantial de Arteta	Belascoáin 1966	Etxauri 1966	Ibero 1966
CaX ₂	0.591	0.927	0.672	0.733	0.655
MgX ₂	0.359	0.071	0.252	0.234	0.247
NaX	0.049	0.002	0.073	0.031	0.093
KX	0.001	0.000	0.003	0.002	0.005

Tabla 12. Capacidad de intercambio catiónico modelada con PHREEQC en equilibrio con las aguas representativas del acuífero Eoceno antes de la afección industrial

Índices de saturación

Los resultados de especiación-solubilidad para las aguas de interés se muestran en la Tabla 13, donde puede verse que las aguas subterráneas de acuífero Eoceno antes de la evacuación de salmueras, representadas por los manantiales de Arteta, Ibero 1966, Etxauri 1966 y Belascoáin 1966, y por las aguas del sondeo S-3 están próximas a la saturación de calcita y dolomita, y subsaturadas en yeso y anhidrita.

Las salmueras industriales están en general saturadas en calcita y dolomita y subsaturadas en yeso y anhidrita aunque muestran una elevada variabilidad temporal, mientras que las salmueras en contacto con los materiales triásicos están ligeramente saturadas en los cuatro minerales.

Los manantiales de Ibero, Etxauri y Belascoáin muestran valores ligeramente más positivos en 2017, después de la afección por la evacuación de salmueras industriales.

Punto de agua	IS Calcita	IS Dolomita	IS Yeso	IS Anhidrita
Manantial de Arteta	0.06	-0.87	-2.71	-3.16
Sondeo S-3	-0.46	-0.94	-1.36	-1.78
Manantial Ibero 1966	-0.19	-0.54	-2.10	-2.33
Manantial Etxauri 1966	0.31	0.38	-1.96	-2.32
Manantial Belascoáin 1966	-0.18	-0.53	-1.81	-2.05
Salmuera industrial	-0.89 a 1.06	-0.1 a 1.2	-1.9 a 0.13	-0.37 a -0.5
Salmuera Triásico	0.59	0.54	0.33	0.16
Manantial Ibero 2017	0.58	0.77	-1.48	-1.87
Manantial Etxauri 2017	0.43	0.51	-1.48	-1.88
Manantial Belascoáin 2017	0.48	0.78	-1.58	-1.86

Tabla 13. Valores de los Índices de Saturación (IS) obtenidos en los cálculos de especiación-solubilidad con PHREEQC para las aguas del acuífero Eoceno y las dos salmueras (industrial y del Triásico) para los principales minerales considerados.

Análisis de sensibilidad

Los parámetros más críticos en los procesos considerados en la modelación, sobre los que se ha realizado un análisis de sensibilidad han sido la concentración salina de la salmuera industrial y la capacidad de intercambio catiónico (CIC). La concentración de la salmuera se ha variado entre los extremos máximo y mínimo de los medidos en los análisis históricos y en los realizados en el presente trabajo. Los valores de CIC se han variado entre 0.25 y 0.75, a ambos lados del valor medio de 0.5 utilizado, e incluido por defecto en PHREEQC, extremos que son normales en acuíferos carbonatados (Appelo, 1994, Lambrakis y Kallergis, 2001).

3.4.2. Modelación de la composición química de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno antes de su afección

En este primer paso, se ha simulado la composición química del agua de los manantiales del Arga representada por los tres análisis de 1966 (número 5 en la Figura 50), a partir de las aguas de los polos más extremos previos a la evacuación de salmuera industrial, que son las aguas del manantial de Arteta (número 1 en la Figura 50) y las salmueras originadas por contacto con el Triásico evaporítico (número 3 en la Figura 50).

La composición química de estos análisis de los manantiales ocupa una posición en el diagrama de Piper próxima a la de una hipotética línea de mezcla entre la composición de los polos indicados, aunque su contenido en calcio y magnesio frente al sodio es mayor que el que correspondería a una mezcla conservativa. Por ello, se ha realizado la simulación inversa con PHREEQC para obtener las aguas de referencia de estos manantiales postulando las reacciones del modelo B de la Figura 50: 1) mezcla entre el agua de Arteta (composición mediana) y la del Triásico, 2) disolución-precipitación de minerales suficientemente abundantes en la zona como calcita, dolomita, yeso y halita. Se obtienen como resultado varios modelos plausibles en los que existe una mezcla de hasta el 5‰ de salmuera del Trías y son necesarios los procesos de precipitación de calcita y disolución de dolomita, yeso y halita.

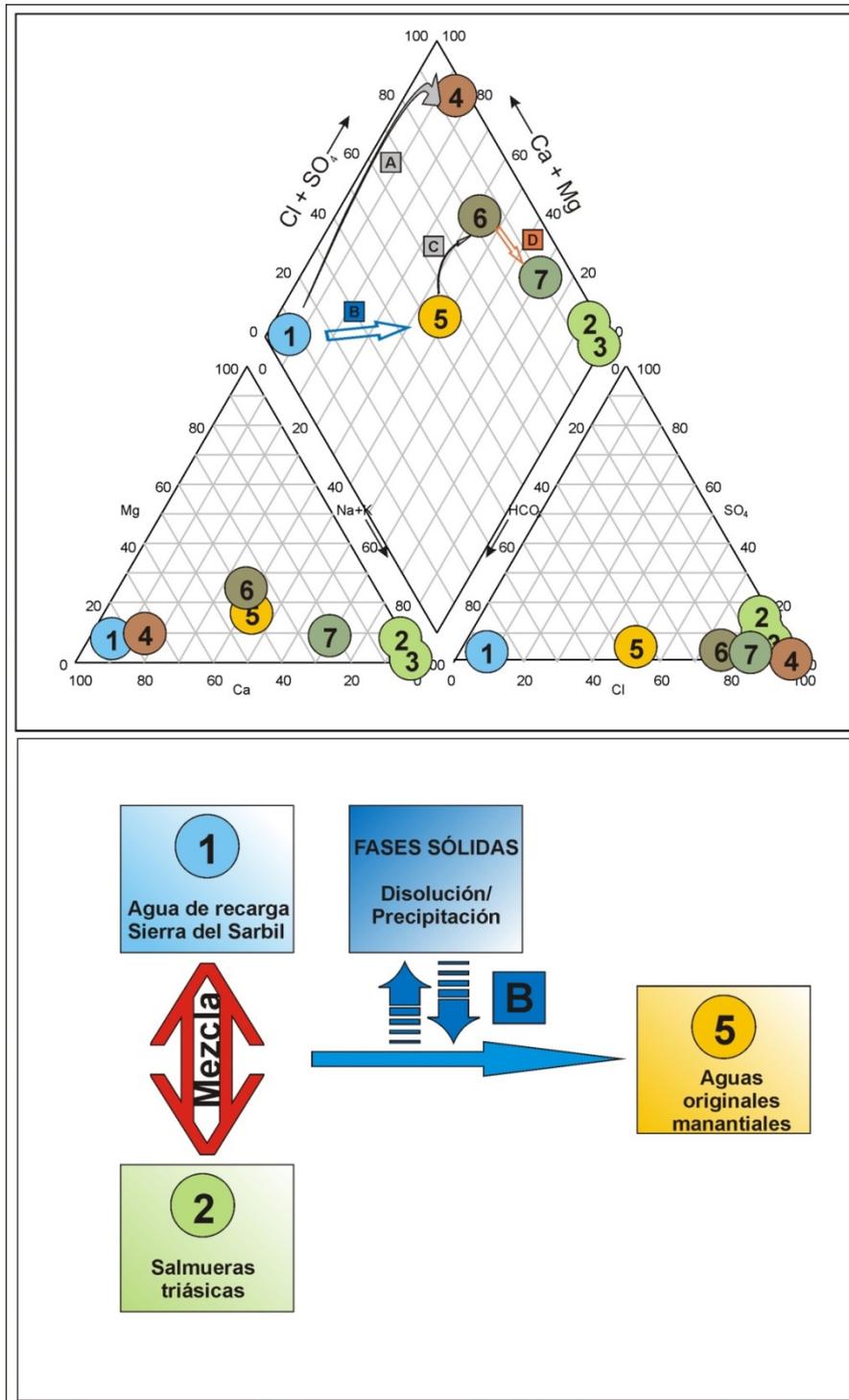


Figura 50. Modelo sintético de mezcla de las aguas de recarga y las salmueras en contacto con materiales triásicos + reacciones de disolución/precipitación de estos materiales para dar lugar a las aguas de los manantiales del Arga antes de su afección por el vertido de salmuera industrial.

La aproximación se ha confirmado con modelos directos con resultados aceptables, aunque en todos los casos se obtiene un déficit de bicarbonatos y calcio y un exceso de sodio (Figura 51). La bondad de estos resultados muestra la robustez del modelo, sobre todo si se tiene en cuenta que se han impuesto las mismas características de mezcla y equilibrio con la roca para los tres manantiales.

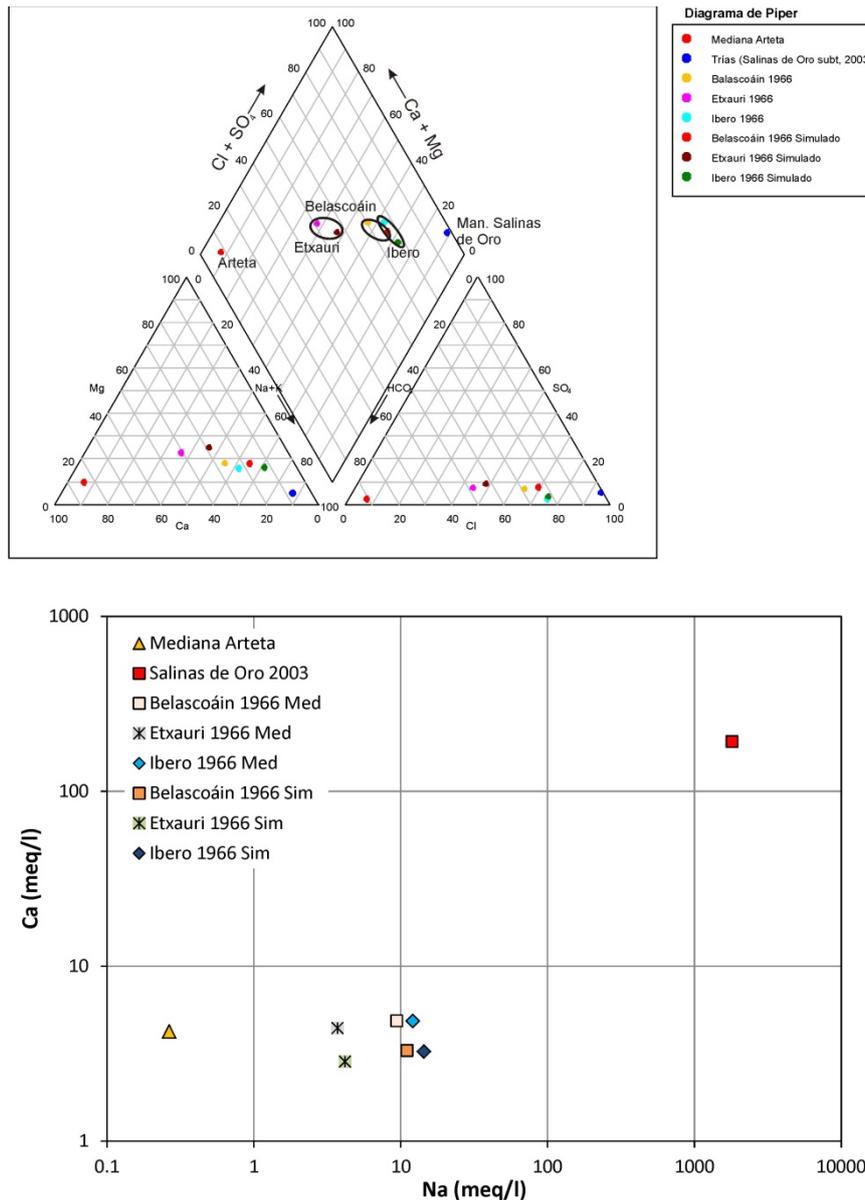


Figura 51. Comparación de los análisis del agua de los manantiales del Arga de 1966 con los resultados de los modelos elaborados con PHREEQC en los que se han incluido procesos de mezcla de dos polos (Arteta y salmuera del Triásico evaporítico) y de disolución-precipitación (calcita, dolomita, yeso y halita).



Las aguas extraídas en el sondeo S-3 durante las pruebas de admisión en el sondeo S-6 tienen una composición similar a la de los manantiales del Arga, si bien en este caso, como se ha dicho más arriba las concentraciones de sulfato y de potasio deben ser postuladas y los resultados pueden no considerarse tan rigurosos. No obstante, el resto de cationes y aniones son explicados por procesos similares de mezcla y disolución-precipitación.

Por último, aunque no se ha encontrado más que un punto de acceso al acuífero en la zona de interés, en la que se localizan los manantiales, el piezómetro Ibero P2, la explicación de sus aguas tiene especial interés por la distribución vertical que muestran en el interior de la entubación del propio piezómetro. Las muestras más superficiales son similares a las aguas de los manantiales, mientras que las más profundas están asociadas a la falla de Etxauri y su composición clorurada-cálcica es diferente a ellas y las del resto del sistema.

Las aguas más superficiales de ese piezómetro se explicarían por los mismos procesos incluidos en el modelo directo utilizado en el caso de los manantiales y el sondeo S-3. Sin embargo, la reproducción de las aguas más profundas de Ibero P2, representadas con el número 4 en la Figura 49, ha requerido simular un proceso de intercambio catiónico con un intercambiador en equilibrio con el agua de Arteta, además de la mezcla de agua de Arteta con la salmuera del Triásico (proceso A de la Figura 50). El valor utilizado para la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en este modelo directo ha sido de 0.5 moles, el valor que sugiere PHREEQC por defecto. La Figura 52 muestra que estos procesos permiten alcanzar un ámbito cercano a ese tipo de agua.

En este primer paso se pretendía obtener los modelos capaces de representar la situación inalterada del acuífero previa a la evacuación de salmuera en sondeos, pero debe destacarse que, en este último caso, los resultados serían similares si se simula la mezcla con la salmuera industrial, lo cual será discutido en el siguiente apartado.

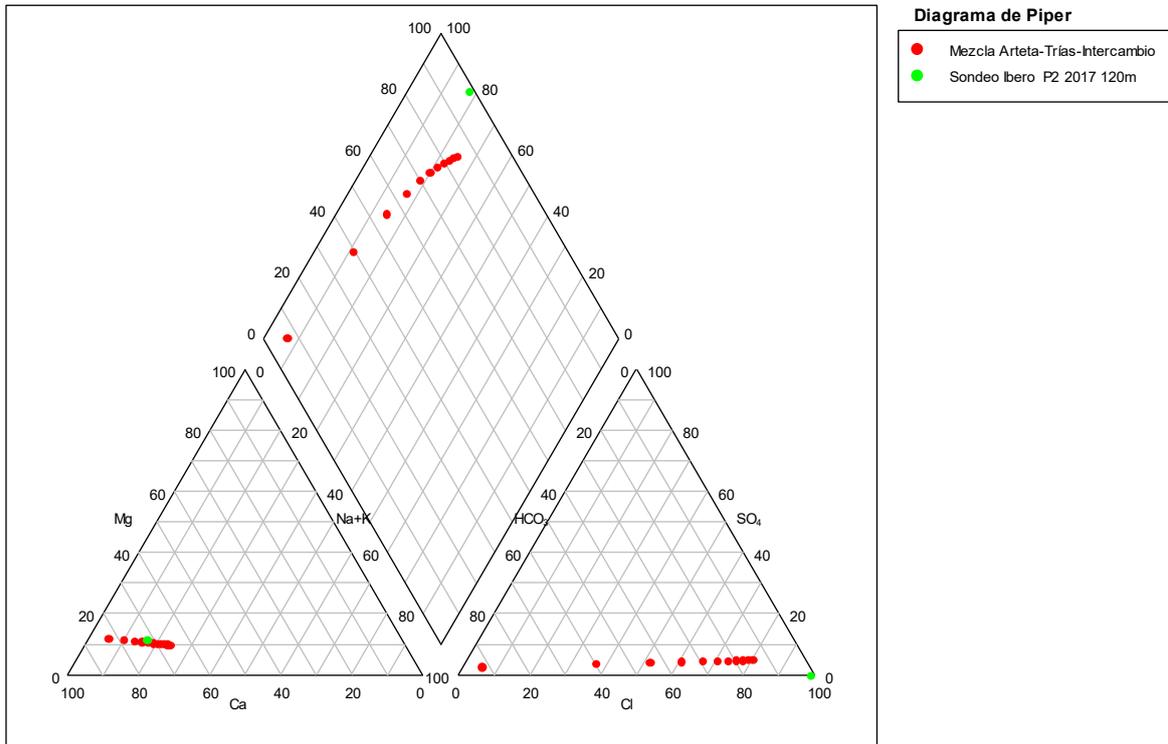


Figura 52. Comparación de los análisis del agua del piezómetro Ibero P-2 con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se han incluido procesos de mezcla de dos polos (Arteta y salmuera del Triásico evaporítico) y de intercambio catiónico (modelo A de la Figura 50).

3.4.3. Modelación del proceso de salinización de los manantiales del Arga

En este segundo y último paso, se han simulado los cambios químicos observados en las aguas de los tres manantiales. El primer proceso considerado es la mezcla de las aguas del acuífero Paleoceno-Eoceno, representadas por las aguas de los tres manantiales en 1966, que han interactuado con los principales minerales del acuífero (número 5 en la Figura 53), con una salmuera clorurada-sódica procedente de los sondeos de evacuación (número 3 en la Figura 53), en un medio con una capacidad de intercambio catiónico (proceso C en la Figura 53), representada por un intercambiador cuyas características se han calculado anteriormente por equilibrio con las aguas de los manantiales en 1966 (Tabla 12).

El proceso de mezcla se ha modelado en 10 pasos, en cada uno de los cuales se ha añadido un 1‰ de salmuera hasta un total de un 10 ‰, sin tratar de optimizar los resultados. En los modelos no se han variado ni estos porcentajes de mezcla ni la composición de la salmuera o los manantiales para lograr una mejor representación.

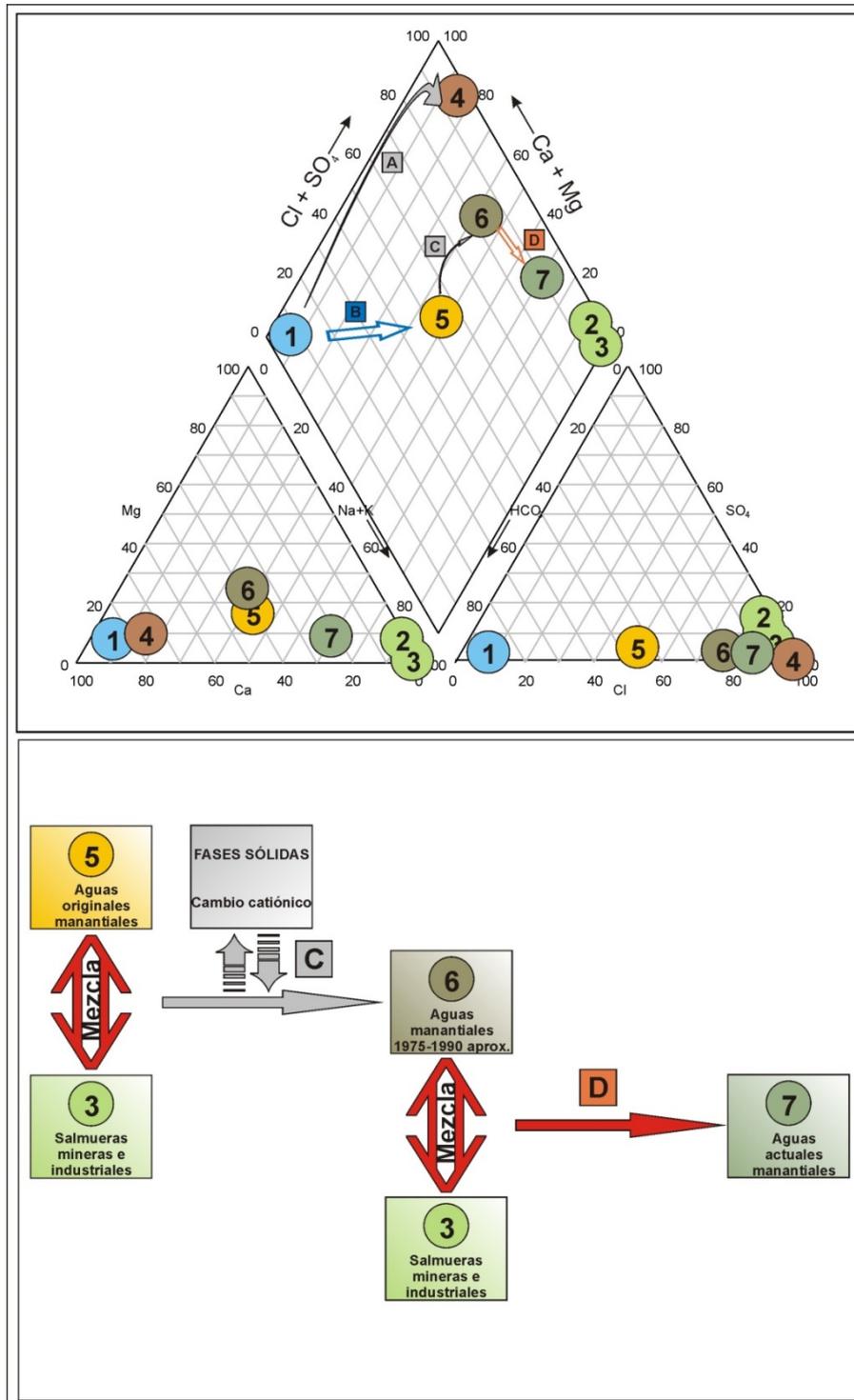


Figura 53. Modelo sintético de mezcla de las aguas de los manantiales del Arga antes de su afección con la salmuera industrial + reacciones de cambio catiónico y de un mayor contribución de esta salmuera para representar la evolución de las aguas de estos manantiales desde 1966 hasta la actualidad

Los cálculos realizados con la aproximación inversa teniendo como solución objetivo las aguas del manantial de Etxauri en la actualidad sugieren varios modelos posibles en los que intervienen los procesos seleccionados y un porcentaje de mezcla de salmuera inferior al 10‰ en todos los casos.

Los modelos directos elaborados reproducen satisfactoriamente la evolución de la composición química de los manantiales hasta 1990, pero requieren un cambio para reproducir la evolución observada desde 1990 hasta la fecha, hacia aguas cloruradas-sódicas, ya que no es posible alcanzar este punto con un proceso “infinito” de intercambio catiónico. Este cambio de tendencia se ha simulado en una segunda serie de modelos directos mediante el cese del proceso de intercambio y el aumento del porcentaje de mezcla con las salmueras (proceso D en la Figura 53).

Los resultados de la modelación se muestran en la Figura 54 para los tres manantiales, en forma de porcentajes relativos de los constituyentes mayoritarios agrupados en cationes y aniones. Se observa una buena reproducción de la evolución geoquímica observada en los manantiales de 1966 a la actualidad con este modelo que representa de forma simple procesos plausibles de mezcla de aguas reconocidas e intercambio con el medio geológico, sin necesidad de recurrir a una salmuera cambiante en el tiempo y el espacio de difícil justificación.

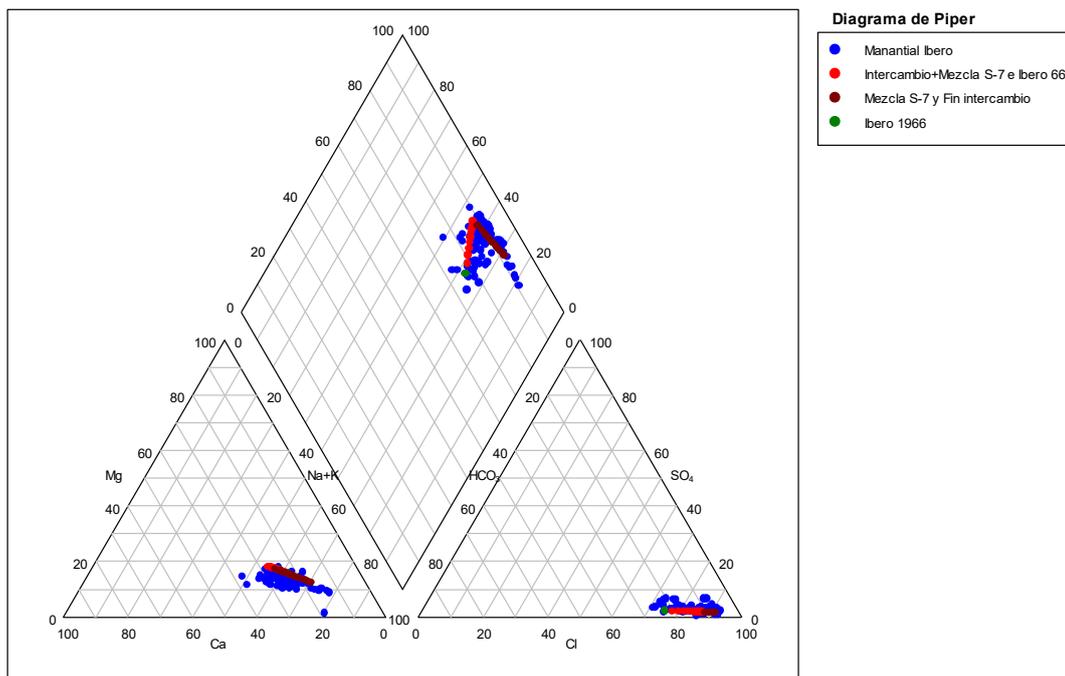


Figura 54. Comparación de los análisis del agua de los manantiales del Arga (Ibero, Etxauri y Belascoáin) con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se ha incluido la mezcla de dos polos (los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial y esta misma salmuera) y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

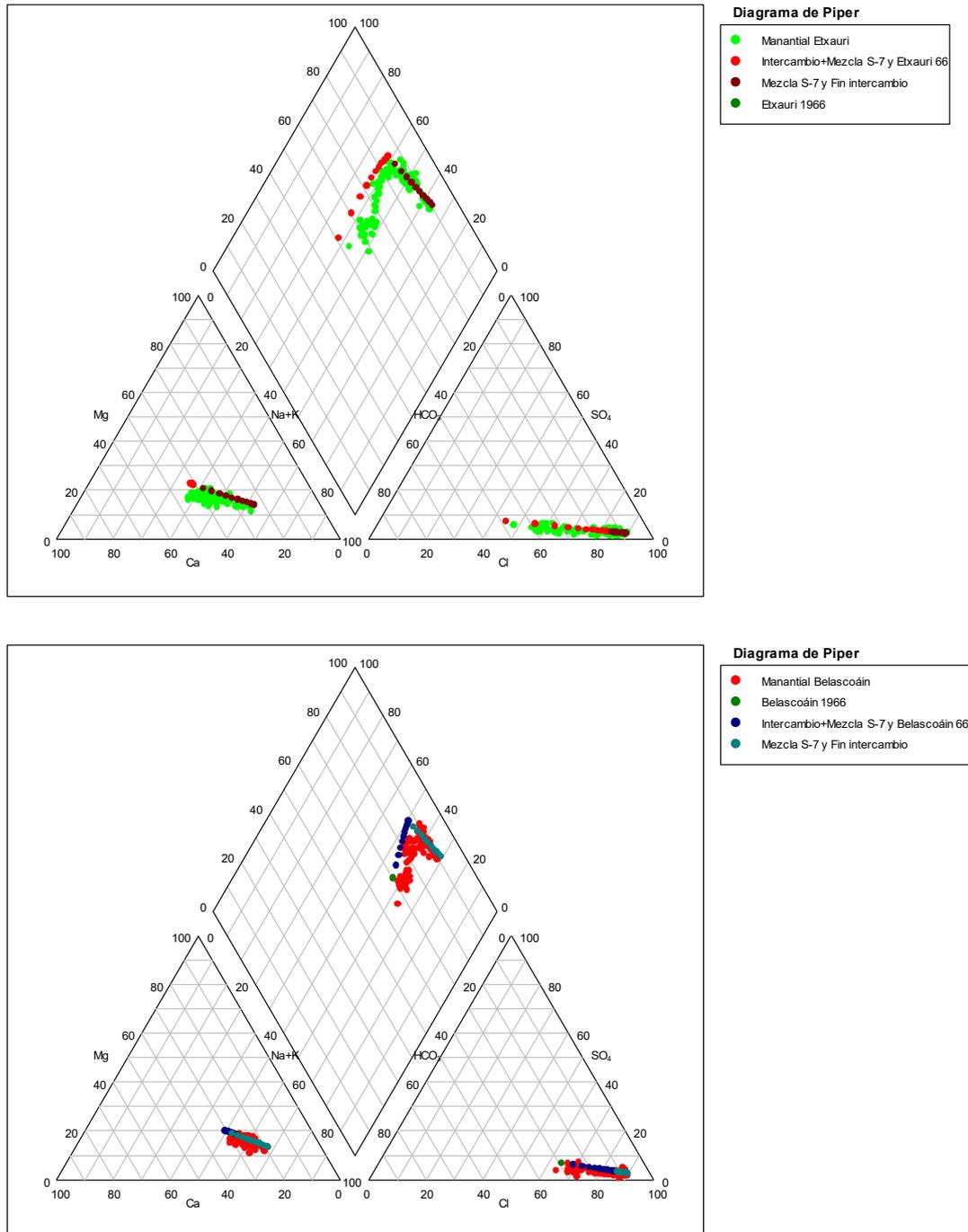


Figura 54 cont. Comparación de los análisis del agua de los manantiales del Arga (Ibero, Etxauri y Belascoáin) con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se ha incluido la mezcla de dos polos (los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial y esta misma salmuera) y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

Las figuras 55 a 57 muestran otra forma de analizar la reproducción de la tendencia observada en las características físico-químicas de los manantiales, donde se presentan los valores absolutos y no relativos de las concentraciones de Cl frente a Na, Cl frente a K, Na frente a Ca, y Mg frente a Ca observadas y modeladas en los tres manantiales.

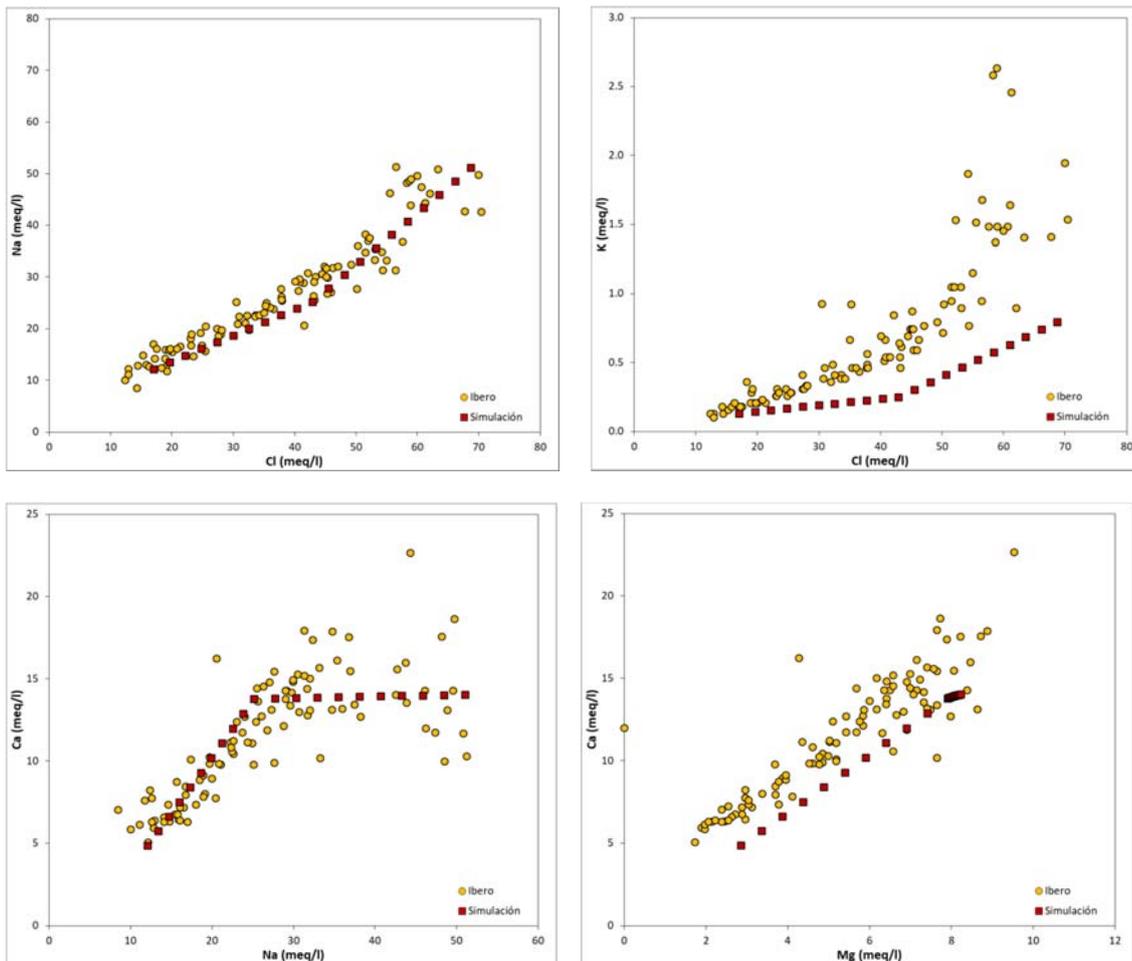


Figura 55 Comparación de la evolución de pares iónicos en las aguas del manantial de Ibero con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se ha incluido la mezcla de dos polos (los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial y esta misma salmuera) y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

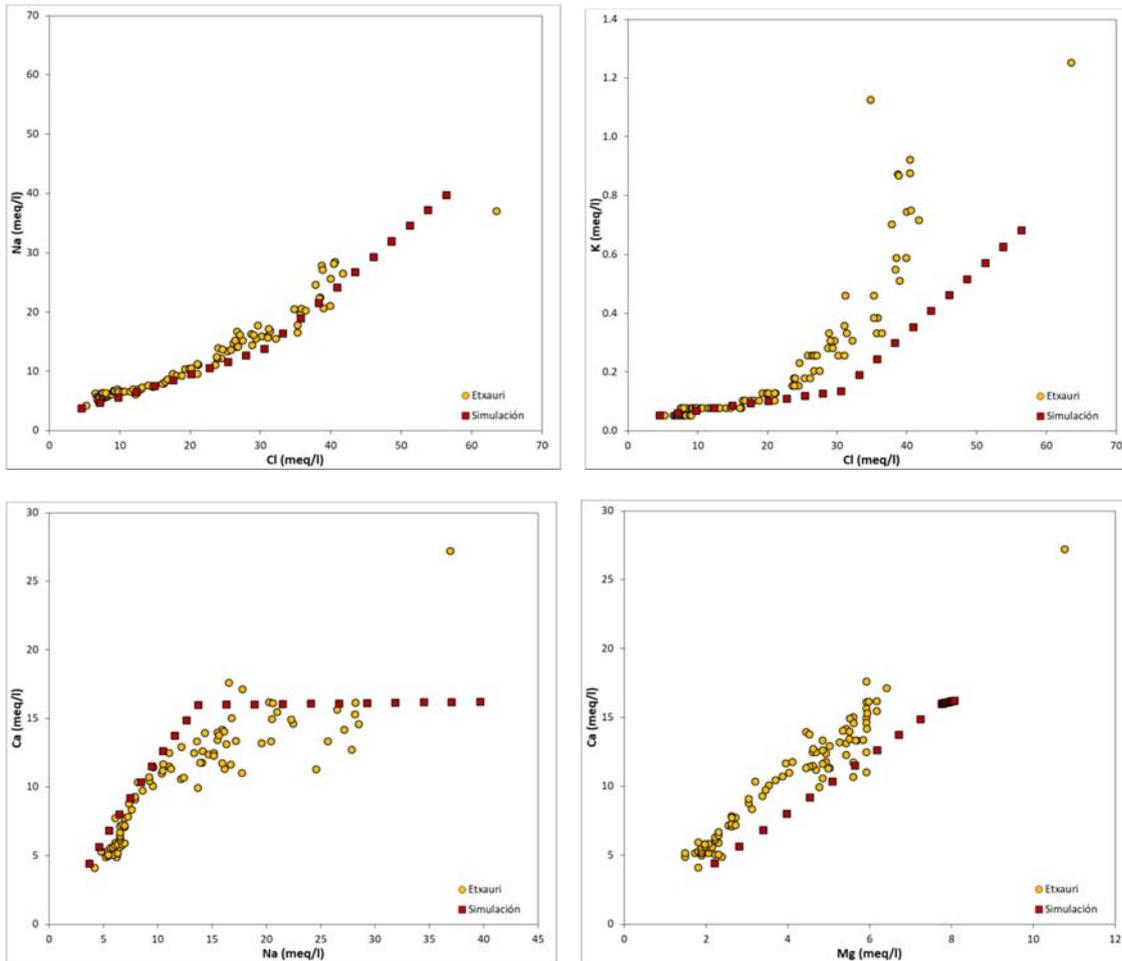


Figura 56. Comparación de la evolución de pares iónicos en las aguas del manantial de Etxauri con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se ha incluido la mezcla de dos polos (los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial y esta misma salmuera) y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

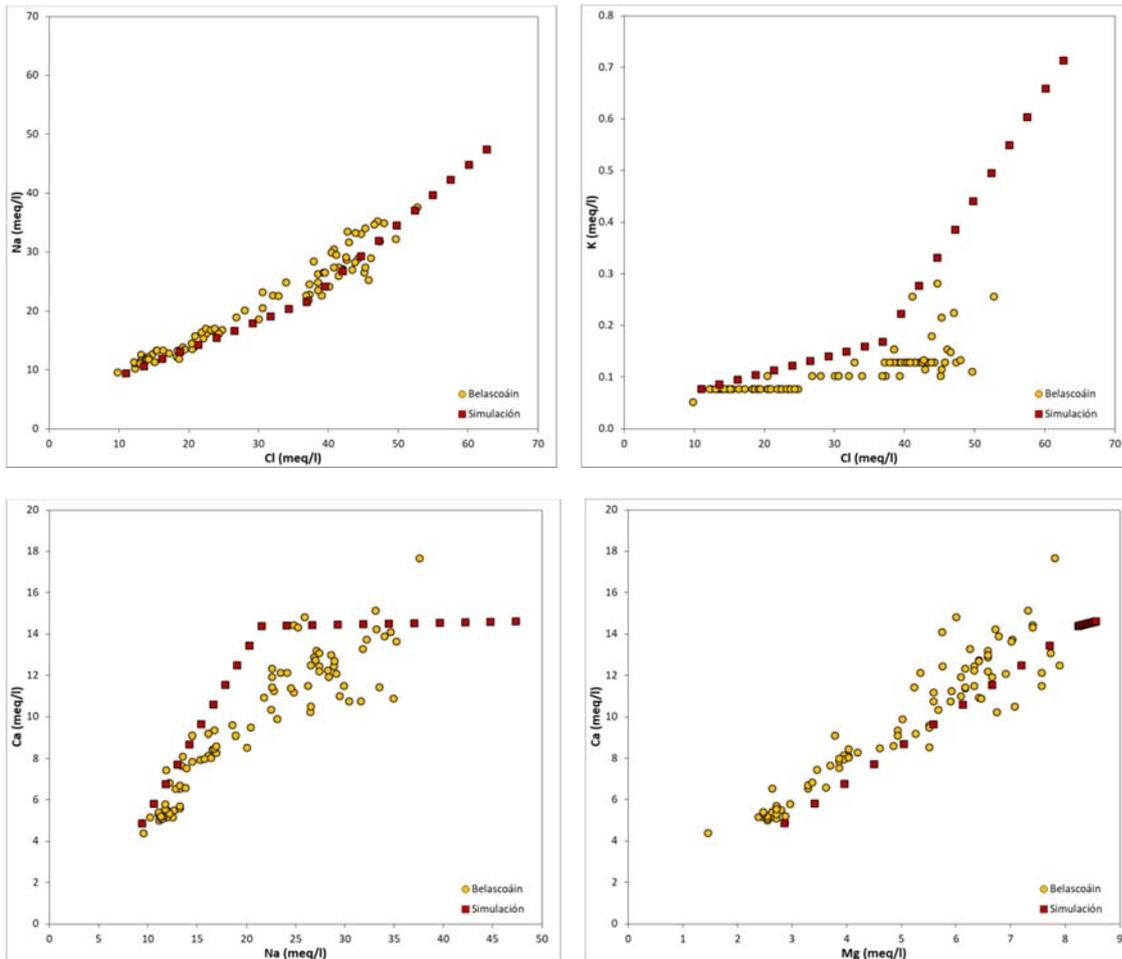


Figura 57. Comparación de la evolución de pares iónicos en las aguas del manantial de Belascoáin con los resultados del modelo elaborado con PHREEQC en los que se ha incluido la mezcla de dos polos (los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial y esta misma salmuera) y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

Los resultados son parecidos al mezclar las aguas originales de los manantiales con las salmueras del Triásico o con las evacuadas en los sondeos. Es de destacar que se requiere mayor porcentaje de mezcla de salmuera del Triásico que de las salmueras industriales (aproximadamente el doble) para reproducir las salinidades observadas, y que existe una mayor dificultad para alcanzar las concentraciones de K medidas en los manantiales. No obstante, es difícil de explicar que los cambios en la composición química de las aguas de los manantiales se deban a un incremento de aporte de agua desde el Triásico, es decir, desde la Sierra de Sarbil y la margen derecha del río Arga, y menos que ésta pueda ser motivada por la evacuación de salmuera en el acuífero de la Sierra de Alaiz, en la margen izquierda.

Una explicación más sencilla y más razonable es pensar en un empuje cada vez mayor sobre las aguas originales del acuífero, por parte de la salmuera que se viene evacuando desde los años 60, y cuya mezcla reacciona con el medio y genera los primeros cambios observados, y va

afectando cada vez de forma más directa, por mezcla conservativa, al agua que descarga en los manantiales. El cese de la relevancia del proceso de intercambio puede explicarse bien por saturación de su capacidad, al verse afectado por una salmuera rica en Na y K, o por la llegada cada vez más directa y en mayor porcentaje de la salmuera industrial a los manantiales.

Los resultados del análisis de sensibilidad realizado sobre la concentración salina de la salmuera industrial y la capacidad de intercambio catiónico (CIC), muestran que estos factores no afectan a la capacidad de reproducir los cambios observados en los manantiales por parte del modelo conceptual probado. La consideración de distintos valores de concentración de la salmuera sólo afecta al porcentaje de mezcla que hay que suponer entre los extremos máximo y mínimo, y en ningún caso es superior a un 20 %. Por último, como se muestra en la Figura 58 para el manantial de Etxauri, como ejemplo del resto de manantiales, el resultado de variar el valor de la CIC entre 0.25 y 0.75 no afecta a la capacidad del modelo de reproducir la tendencia observada en la calidad del agua de los manantiales.

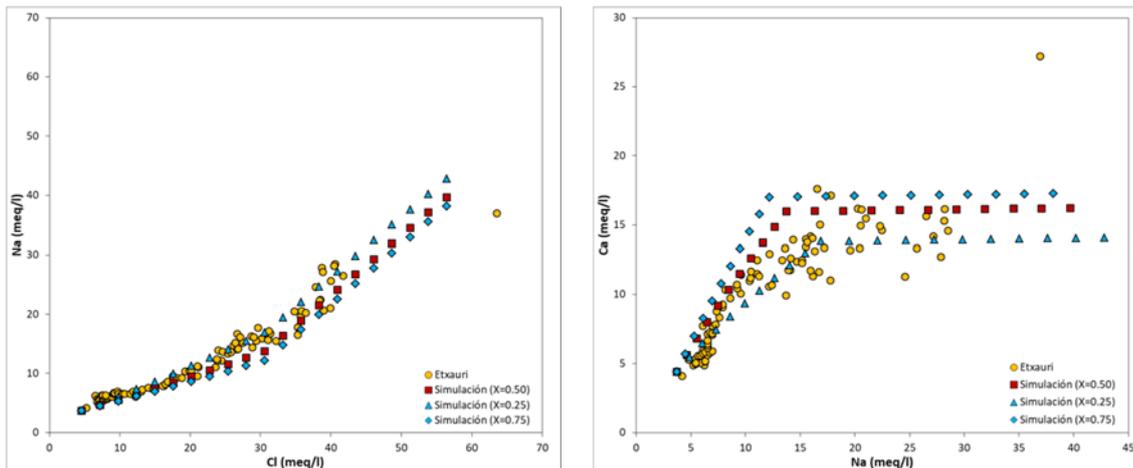


Figura 58. Resultado del análisis de sensibilidad a la capacidad de intercambio catiónico, representada por X en PHREEQC, y comparación con la evolución de pares iónicos en las aguas del manantial de Etxauri con los resultados del modelo de mezcla de las aguas de los propios manantiales antes de la evacuación de la salmuera industrial con esta misma salmuera, y un proceso de intercambio catiónico con el medio geológico (procesos C y D de la Figura 53).

4. RESUMEN Y CONCLUSIONES

En el presente trabajo se ha evaluado el comportamiento del sistema de evacuación de salmuera industrial a un almacén geológico profundo que opera POSUSA en la comarca de Pamplona desde 1960. Este sistema se basó en un modelo de funcionamiento hidrogeológico de la formación almacén que no ha resultado acertado, y ha motivado la salinización progresiva de los principales manantiales próximos al río Arga en esta zona (Ibero, Etxauri y Belascoáin), que drenan parcialmente las masas de agua subterránea de las sierras de Alaiz y Andía.

El sistema de evacuación de salmuera no ha cambiado sustancialmente desde el inicio de la explotación minera y la fabricación de sales potásico-sódicas en 1960 hasta la actualidad, si bien en la última década se ha reducido el volumen de salmuera evacuado y se ha aumentado su salinidad y densidad. El sistema consta de una serie de instalaciones en superficie (balsas, conducciones y drenajes) que recogen las salmueras de rechazo de la fábrica y las que se generan por lixiviación del agua de lluvia sobre las escombreras a cielo abierto (estas últimas suponen del orden del 90% del total evacuado), y las transportan a los sondeos en los que se evacúan a una formación geológica constituida por calizas del Eoceno, ubicada a unos 1000 m de profundidad. Un cierto porcentaje de lixiviados se infiltran en las terrazas del Elorz.

En este estudio se ha analizado la información sobre: 1) diseño y ubicación de los sondeos de evacuación; 2) geología e hidrogeología del acuífero carbonatado Eoceno; y 3) características físico-químicas e isotópicas de las aguas del acuífero, las salmueras industriales, los ríos Arga, Elorz y Arakil, y los tres manantiales principales afectados. Con esta base se han elaborado balances de masa en los manantiales y en el río Arga, y modelos hidrogeoquímicos del acuífero, se han revisado en detalle las hipótesis sobre el comportamiento del sistema de evacuación de salmuera, sobre las que se ha basado su operación hasta la fecha, y se propone un nuevo modelo que explica la situación observada y permite plantear medidas correctoras.

Los resultados de este trabajo demuestran que el sistema de evacuación no ha funcionado como estaba previsto, principalmente porque está basado en un modelo de flujo de doble porosidad que no corresponde al comportamiento del acuífero, ya que éste responde en su mayor parte a un flujo a través de fracturas y conductos kársticos, y porque los sondeos de evacuación perforan directamente una de estas zonas de fracturación alineada con los manantiales más afectados.

Las observaciones que soportan este nuevo modelo de flujo en fracturas y conductos hacen referencia, principalmente, a la ubicación y profundidad de los sondeos de evacuación y al movimiento de la salmuera en el acuífero, y son las siguientes:

- La ubicación de los sondeos de evacuación sobre la cartografía geológica de la zona pone de manifiesto que todos ellos están concentrados en una posición desde la que deben penetrar directamente en la zona de fracturación asociada a la falla de Esparza y no un punto central de las formaciones acuíferas carbonatadas en la fosa del Perdón.
- La formación carbonatada objeto del almacén de salmuera industrial se alcanzó a profundidades diferentes en varias decenas de metros en sondeos próximos, lo que es reflejo de su ubicación en una zona de fractura.

- Los valores de permeabilidad encontrados en las pruebas de admisión de los sondeos de evacuación son propios de zonas fracturadas, dos órdenes de magnitud mayores que los obtenidos en otros puntos del acuífero. Esos valores se han mantenido a lo largo de los años como muestran los excelentes resultados de admisión logrados.
- El modelo de flujo en fracturas o conductos es el asumido por todos los estudios hidrogeológicos previos para este acuífero, y en especial para las calizas del Eoceno, en contraste con el flujo difuso a través de la matriz del acuífero, que aplicaría a las dolomías paleocenas subyacentes, no alcanzadas por los sondeos de evacuación.
- La salinización de los manantiales, ocurrida en un plazo tan corto, de 10 a 15 años desde el inicio de la evacuación de la salmuera industrial, sugiere que un elevado porcentaje del flujo del acuífero y, en consecuencia, del transporte de la salmuera se produce a una velocidad elevada a través de fracturas o conductos, o a que el agua almacenada en ellos es escasa y se sustituye fácilmente.
- El movimiento de la salmuera no parece estar regido por los gradientes verticales que se derivarían de su alta densidad o, al menos, no en una parte fundamental, sino que se integra en su mayor proporción en el flujo por fracturas y conductos hacia los puntos de descarga constituidos por los manantiales próximos al cauce del río Arga. Una mayor contribución del flujo difuso a través de la porosidad primaria no se habría manifestado en los puntos de descarga, o habría dado lugar a una respuesta más lenta. De hecho el volumen de almacenamiento estimado como potencialmente afectado en el acuífero por el ingreso de la salmuera industrial no alcanza al 20%.
- Los modelos hidrogeoquímicos muestran que, aunque el proceso de salinización no corresponde, en los primeros años, a una mezcla conservativa del agua del acuífero con la salmuera industrial, sí corresponde a dicha mezcla en los últimos años. Los balances de masa realizados en este estudio muestran que la salinización actual de los manantiales puede explicarse por una mezcla conservativa de las aguas del acuífero (con origen mayoritario en la Sierra de Sarbil) con una proporción de salmuera industrial del orden del 1 al 5%, y que más del 50% de la salmuera evacuada a los sondeos está siendo descargada en los manantiales y el resto, probablemente, al río Arga entre Etxauri y Puente la Reina.
- Las desviaciones observadas en esos primeros años también se explican si se considera que la llegada de la salmuera industrial inicia la intervención de un proceso sencillo, y plausible en este medio geológico, de interacción de las aguas subterráneas con los minerales del acuífero por cambio catiónico, principalmente de Na por Ca. La saturación de esta capacidad de cambio o el desplazamiento definitivo de las aguas que habían sufrido este proceso por las salmueras industriales, explican el proceso de salinización observado desde principios de la década de 1990.
- La evolución de la relación iónica Cl/K no puede reproducirse sin recurrir a una componente originada en la zona de fabricación de sales potásicas.

Según el modelo propuesto en el presente estudio, la falla de Esparza actúa como un conducto de flujo preferente, en cuyo seno se evacúan las salmueras industriales mediante sondeos. Esta falla y sus ramificaciones drenan el acuífero carbonatado Eoceno y conducen a una velocidad



relativamente elevada las aguas subterráneas mezcladas con las salmueras evacuadas hacia los manantiales y el río Arga.

El resultado de este comportamiento del acuífero y del sistema de evacuación de salmuera industrial ha sido la salinización progresiva de los manantiales próximos al río Arga (Ibero, Etxauri y Belascoáin). El modelo planteado en este estudio sugiere, también, que la afección sería reversible y que los manantiales, y el sistema en su conjunto, podrían recuperar sus condiciones iniciales en pocos años, si se frena la evacuación de salmuera industrial y no sólo se reduce su volumen, dado que su llegada es casi directa a los manantiales a través de planos o conductos de flujo preferente.

5. RECOMENDACIONES

Las conclusiones de este trabajo ponen de manifiesto la necesidad de modificar el modelo actual de gestión de las salmueras que realiza POSUSA, si se quiere evitar el impacto causado en la calidad de las aguas de los manantiales de Ibero, Etxauri, y Belascoáin. Esto pasa por limitar la generación de salmueras y buscar alternativas a su actual evacuación en sondeos profundos.

El diseño de la mejor opción de gestión para estas salmueras obliga a comparar varias estrategias de gestión de residuos combinadas con cambios en el proceso industrial y con la aplicación de técnicas de remediación, lo cual queda fuera de los objetivos y alcance de este trabajo, por el análisis que conlleva de condicionantes económicos y de política industrial y medioambiental. No obstante, dadas las observaciones realizadas sobre varios de estos aspectos durante el presente trabajo, se aportan los siguientes comentarios:

- Respecto a la gestión de residuos, se podría realizar un estudio detallado sobre el término fuente, dirigido principalmente a minimizar la producción de residuos líquidos o salmueras. Dado que el mayor porcentaje de estos residuos se originan por lixiviación de las escombreras salinas por las aguas pluviales, el cubrimiento de estas escombreras con algún material de baja permeabilidad, limitaría su generación. Su apertura a la atmósfera para su uso industrial y su consiguiente lavado podrían planificarse de modo que se optimizara el balance entre producción de sal y generación de salmueras.
- Debería estudiarse la eliminación por evaporación o reutilización de las salmueras de rechazo de la fábrica, un pequeño porcentaje del total de residuos líquidos actuales. La gestión de los residuos sólidos finales por confinamiento u otras vías no se vería afectado por esta actuación.
- Respecto al proceso industrial, se podría estudiar el modo de usar, en el proceso de fabricación de sal doméstica, la salmuera que se obtiene por lixiviación por las aguas pluviales. Es probable que existan soluciones alternativas al modo de producción actual que la empresa debería valorar para estudiar su viabilidad.
- Respecto a las técnicas de remediación, en caso de proceder a la cobertura de las escombreras, esta estrategia se podría combinar con la recarga de las aguas pluviales “sobrantes” en el acuífero para la dilución del pulso salino generado.

En segundo lugar, es recomendable cuidar el diseño y la operación de un sistema de drenaje que limite las fugas al medio subterráneo y a las aguas superficiales y optimice la gestión de salmueras. La descripción de los sistemas de superficie que vehiculan las salmueras entre puntos intermedios de este sistema de gestión, y de los detalles de los diferentes componentes que han operado en distintos momentos de las más de cinco décadas de funcionamiento de este sistema, no se ha abordado en este informe ya que no se ha considerado relevante para su objeto principal de analizar el sistema de evacuación en sondeos profundos. Estos detalles sí son importantes, sin embargo, y deberán cuidarse a la hora de comparar diferentes opciones de gestión conjunta de residuos sólidos y líquidos, en las que se trate de minimizar no sólo la afección a las aguas subterráneas del acuífero profundo, sino también a los acuíferos aluviales más someros y a las aguas superficiales de los ríos Elorz y Arga.

En tercer lugar, el trabajo desarrollado ha puesto de manifiesto carencias importantes de información sobre el sistema de evacuación de salmueras industriales incluido el acuífero que constituye su almacén geológico. Ninguna de ellas ha impedido formarse una idea suficiente del comportamiento de dicho sistema y de su impacto en la calidad de las aguas de las zonas de descarga, constituidas por el río Arga y los manantiales de Ibero, Etxauri, y Belascoáin. No obstante, con objeto de ayudar a evaluar los resultados y la eficacia de las posibles acciones correctoras que se emprendan en el futuro, en concreto, la reducción de la salinidad de los manantiales afectados, se propone la construcción de al menos dos sondeos equipados para la medida del nivel del agua la calidad del agua en el trazado de la falla de Esparza y sus ramificaciones, entre los sondeos de evacuación de salmuera y los manantiales afectados.

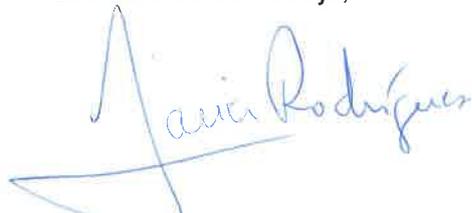
Por último, es clave que se mantenga el programa de vigilancia ambiental actualmente en operación, que incluye: 1) la caracterización físico-química de las salmueras y la medida de la tasa de evacuación para cada sondeo, con objeto de evaluar los cambios en el término fuente de la contaminación salina; y 2) la caracterización físico-química de las aguas de los manantiales y de los ríos, con objeto de seguir el impacto de esta contaminación en las masas de agua superficial y subterránea.

Este programa debería incluir, además, las medidas de:

- El caudal de descarga en los manantiales. Las dificultades que puede entrañar su medida directa podría resolverse aplicando la estrategia de hacer balances de sales en el río Arga, contando con la experiencia realizada en este trabajo que ha dado buenos resultados.
- El caudal del río Arga en Puente la Reina. El río Arga es una descarga lineal, y probablemente final, del sistema a su paso por Puente la Reina. Por ello, la medida de este parámetro, junto a la conductividad eléctrica y la concentración de cloruros que ya se determinan, serviría para cerrar el balance de masas con mayor precisión de la que ha sido posible en este trabajo, e identificar el destino de la salmuera de vertido mediante una valoración del porcentaje que es retenido en el almacén geológico y el que es eliminado por dispersión en las aguas superficiales.

Madrid, noviembre de 2017

Los autores del trabajo,



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



D. Silvino Castaño Castaño
Doctor en Ciencias Geológicas
Director de Programa



6. BIBLIOGRAFÍA

Appelo, C. A. J., 1994. Cation and proton exchange pH variations, and carbonate reactions in a freshening aquifer. *Water Resources Research* Vol. 30, No. 10, 2793-2805.

Appelo, C.A.J., Postma, D. 1994. *Geochemistry, groundwater and pollution*. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands. 536 pp.

AURENSA, 1990. Análisis de la información hidrogeológica suministrada por POSUSA.

Bethke, C. M., 2008. *Geochemical and Biogeochemical Reaction Modelling*. Cambridge University Press, UK. 543 pp.

Confederación Hidrográfica del Ebro, 2017. <http://www.chebro.es/>

Del Valle de Lersundi, J., 1992. Estudio geológico e hidrogeológico del yacimiento potásico de Subiza. 23 pp.

Diputación Foral de Navarra, 1982. Las aguas subterráneas de Navarra. Proyecto hidrogeológico. 230 pp.

ENADIMSA, 1985. Proyecto de investigación del borde Oeste del Perdón. Tomo I.- Informe de resultados, 54 pp., y Tomo III.- Estudio petrológico, mineralógico y geoquímico, 101 pp.

GANASA, 2016. Informe semestral sondeos gestión de salmueras (1ª semestre 2016). Informe IS-PRC307600/08, Noáin, junio 2016.

IGME, 1966. Estudio hidrogeológico para delimitación del perímetro de protección del manantial minero-medicinal de Belascoáin (Navarra). 35 pp.

IGME, 1978. Mapa Geológico de España a escala 1:50.000. Hoja 141 (25-08) Pamplona 2ª serie, Primera edición. Mapa y Memoria 23 p.

IGME, 2004. Estudio del impacto hidrogeológico de la inyección profunda de salmuera procedente de las operaciones mineras de Potasas de Suiza. S.A. (Navarra). Memoria 127 pp. y Anexos.

Lambrakis, N., Kallergis, G., 2001. Reaction of subsurface coastal aquifers to climate and land use changes in Greece: modelling of groundwater refreshing patterns under natural recharge conditions. *Journal of Hydrology* 245, 19-31.

Lucas, Y., Schmitt, A.D., Chabaux, F., Clément, A., Fritz, B., Elsass, Ph., Durand, S., 2010. Geochemical tracing and hydrogeochemical modelling of water-rock interactions during salinization of alluvial groundwater (Upper Rhine Valley, France). *Applied Geochemistry*, 25, 1644-1663.

Ministerio de Medio Ambiente (MMA), 1999. Delimitación de las unidades hidrogeológicas de la cuenca del Ebro. Oficina de Planificación Hidrológica. Confederación Hidrográfica del Ebro.



Moreno, L., De la Losa, A., 2008. INAQUAS: Utilidad para la interpretación de análisis químicos de aguas subterráneas. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Madrid. 16 p.

Parkhurst, D.L., Appelo, C.A.J., 2013. Description of input and examples for PHREEQC version 3—a computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations: U.S. geological survey techniques and methods, book 6, chap. A43, 497 p. Disponible sólo en <<http://pubs.usgs.gov/tm/06/a43/>>.

Plan Hidrológico de la parte española de la Demarcación Hidrográfica del Ebro, aprobado por Real Decreto 129/2014, de 28 de febrero.

Plummer, N., 1984. Geochemical modelling: A comparison of forward and inverse methods. Proceedings First Canadian/American Conference on Hydrogeology: Practical Application of Ground Water Geochemistry. Banff, Alberta Canada. Brian hitchon and E.I. Wallick, eds. 149-177 Worthington, OH, National Water Well Association.

Zhu, C., Anderson, G., 2002. Environmental Applications of Geochemical Modeling. Cambridge University Press. 284 pp.



7. PERSONAL QUE HA INTERVENIDO EN EL TRABAJO

Por orden alfabético:

D. Silvino Castaño Cataño
Director de Programa
Doctor en Ciencias Geológicas

Dña. Emilia Jiménez Hernández
Técnico Auxiliar de Investigación
Doctora en Ciencias Químicas

Dña. M^a Ángeles de Pablo Sanmartín
Coordinadora del Programa Científico Técnico
Licenciada en Ciencias Químicas

Doña Carmen Patón Ibáñez
Técnico superior de actividades técnicas y profesionales
FP2 de Química analítica

D. Miguel Angel Pérez Pérez
Técnico Superior de Actividades Técnicas y Profesionales
FP1 Electricidad

Doña Elena Pérez Zabaleta
Coordinadora de Programa Científico Técnico
Ingeniera de Caminos Canales y Puertos

D. Luis Pintado Pintado
Jefe de Sección Técnica
Ingeniero Técnico Industrial

D. Luis Pujol Terés
Coordinador de Programa Científico Técnico y Director del Proyecto
Doctor en Ciencias Físicas

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

Dña. Isabel Torres Vidal
Técnico Superior
FP2 de Química



Anexo 1

Medidas de campo de parámetros físico-químicos inestables

LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE MEDIDA Y MUESTREC

Número	Localización	XETRS89	YETRS89	YWGS84	XWGS85
1	Río Elorz. Estación SAICA	609026	4739200	42.7977	-1.66665
2	Río Arga. Polígono Landaben	607787	4740380	42.8084	-1.68169
3	Río Arga. Arazuri	604121	4740997	42.8143	-1.72629
4	Río Juslapeña. Arazuri	604400	4741420	42.8182	-1.72292
5	Río Arga. Ororbía	602338	4740950	42.8143	-1.74822
6	Río Arakil. Asiain	599117	4742645	42.83	-1.78709
7	Río Arga. Ibero	600662	4739680	42.8031	-1.76894
8	Vertido sondeo 7	610780	4733500	42.746	-1.64645
9	Surgencia Escombrera	610860	4733510	42.7461	-1.64547
10	Drenaje Arrubias	610990	4733670	42.7475	-1.64385
11	Drenaje Fábrica	610990	4733670	42.7475	-1.64385
12	Drenaje Meseta	611196	4733560	42.7465	-1.64135
13	Drenaje Media Ladera	611705	4733750	42.7481	-1.6351
14	Balsa Morea	611800	4733170	42.7429	-1.63405
15	Río Arakil. Ibero	600377	4739280	42.7995	-1.7725
16	Manantial de Ibero	600064	4739620	42.8026	-1.77626
17	Río Arga. Etxauri	598966	4738295	42.7909	-1.78981
18	Manantial de Etxauri	599233	4738620	42.7937	-1.7866
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	599256	4738440	42.7921	-1.78635
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	595558	4734830	42.76	-1.83217
21	Manantial de Belascoáin	595449	4734760	42.7594	-1.83351
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	595161	4734340	42.7557	-1.8371
23	Sondeo Ibero P2	599777	4739200	42.7989	-1.77985
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	591859	4737330	42.783	-1.87696
25	Río Salado. Puente de Viguria	588606	4734150	42.7548	-1.91722
26	Río Arga. Puente la Reina	596781	4724970	42.6711	-1.81891
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	594956	4730150	42.718	-1.84031
28	Río Elorz. Berriáin	611952	4733920	42.7496	-1.63205
29	Río Sadar. Pamplona	609153	4739583	42.8009999	-1.665149
30	Barranco de Lastarreca	600450	4737656	42.784926	-1.771884
31	Regata de Eriete	602284	4737460	42.782777	-1.749323
32	Regata Recaldeberri	603318	4738050	42.788046	-1.736622
33	Regata de Idiazábal	603844	4738185	42.789145	-1.730282
34	Barranco Iturbi. Salinas de Pamplona	610561	4734672	42.756607	-1.648893

CAMPAÑA DE SEPTIEMBRE DE 2016

Número	Localización	Fecha	C.E. ($\mu\text{S/cm}$)	pH	T ^a (°C)	ORP (mV)	Eh (mV)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)
1	Río Elorz. Estación SAICA	20/09/2016	3510	8.39	17.2			
2	Río Arga. Polígono Landaben	20/09/2016	379	8.4	16.3			
3	Río Arga. Arazuri	20/09/2016	474	8.59	18.3	357.4	557.4	
4	Río Juslapeña. Arazuri	20/09/2016	596	8.42	17.6			
5	Río Arga. Ororbia	21/09/2016	597	8.35	19.8			
6	Río Arakil. Asiain	20/09/2016	404	8.43	15.6			
7	Río Arga. Ibero	20/09/2016	592		19.9			
8	Vertido sondeo 7	21/09/2016	226000	7.43	28.1	30.4	230.4	56
9	Surgencia Escombrera	21/09/2016	118200	7.45	16.3	-153.2	46.8	
10	Drenaje Arrubias	21/09/2016	210600	6.95	20	70.3	270.3	
11	Drenaje Fábrica	21/09/2016	230000	7.78	48.7	63	263	
12	Drenaje Meseta	21/09/2016	154900	6.97	18.5	48.6	248.6	
13	Drenaje Media Ladera	21/09/2016	132100	6.84	17.5	64.9	264.9	
14	Balsa Morea	21/09/2016	417	7.67	19.8	110.3	310.3	
15	Río Arakil. Ibero	21/09/2016	845	8.45	16.5			
16	Manantial de Ibero	21/09/2016	7070	7.68	19.4	157.1	357.1	191
17	Río Arga. Etxauri	21/09/2016	796	7.9	17.8			124
18	Manantial de Etxauri	21/09/2016	4920	7.24	19.4	205	405	172
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	21/09/2016	675	7.47	18.6			
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	21/09/2016	744	7.31	17.4			
21	Manantial de Belascoáin	21/09/2016	5220	7.22	27.2	213.6	413.6	234
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	21/09/2016	745	7.73	17.4			
23-045	Piezómetro Ibero P2 45m	22/09/2016	714	8.09	17.3			
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	22/09/2016	129400	7.77	21.7	236.1	436.1	155.5
25	Río Salado. Puente de Viguria	22/09/2016	96700	8.38	23.5			
26	Río Arga. Puente la Reina	22/09/2016	914	8.12	18.8			
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	22/09/2016	701		17.8			
28	Río Elorz. Beriáin	22/09/2016	2380	8.04	16.8			

CAMPAÑA DE DICIEMBRE DE 2016

Número	Localización	Fecha	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	T ^a (°C)	ORP (mV)	Eh (mV)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)
1	Río Elorz. Estación SAICA	13/12/2016	3250	8.31	7.4			
2	Río Arga. Polígono Landaben	13/12/2016	339	8.33	6.9			
3	Río Arga. Arazuri	13/12/2016	639	8.78	6.6			
4	Río Juslapeña. Arazuri	13/12/2016	637	8.69	7.5			
5	Río Arga. Ororbía	13/12/2016	735	8.53	9.3			
6	Río Arakil. Asiain	13/12/2016	490	8.4	7.6			
7	Río Arga. Ibero	13/12/2016	791	8.45	9.1			
8	Vertido sondeo 7	14/12/2016	223000	7.75	27.6	289.2	489.2	38.2
9	Surgencia Escombrera	14/12/2016	115300	7.78	13.7			
10	Drenaje Arrubias	14/12/2016	253000	7.22	11			
11	Drenaje Fábrica	14/12/2016	248000	7.77	49.5			
12	Drenaje Meseta	14/12/2016	176800	7.45	16.4			
13	Drenaje Media Ladera	14/12/2016	133800	7.27	15.9			
14	Balsa Morea	14/12/2016	451	8.24	8.7			
15	Río Arakil. Ibero	13/12/2016	1745	8.3	9.1			
16	Manantial de Ibero	14/12/2016	7050	7.46	17.4	340.2	540.2	203.4
17	Río Arga. Etxauri	14/12/2016	868	7.96	8.3			
18	Manantial de Etxauri	14/12/2016	5010	7.37	14.6	352.3	552.3	198.5
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	14/12/2016	790	8	7.9			
20	Río Arga. Aguas arriba Balnerario Belascoáin	14/12/2016	912	7.92	8.1			
21	Manantial de Belascoáin	14/12/2016	5440	7.26	26.7	362	562	199
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	14/12/2016	914	7.78	8.1			
23-045	Piezómetro Ibero P2 45m	14/12/2016	656	7.89	14.4			
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	14/12/2016	98600	8.02	8.8	345.1	545.1	222.4
25	Río Salado. Puente de Viguria	14/12/2016	81800	8.64	7.1			
26	Río Arga. Puente la Reina	15/12/2016	778	8.14	7.8			
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	14/12/2016	866	7.96	8.2			
28	Río Elorz. Beriáin	15/12/2016	3360	8.28	6.1			

CAMPAÑA DE FEBRERO DE 2017

Número	Localización	Fecha	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	T ^a (°C)	ORP (mV)	Eh (mV)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)
1	Río Elorz. Estación SAICA	08/02/2017	2470	8.44	6.8			
2	Río Arga. Polígono Landaben	08/02/2017	348	8.88	6.9			
3	Río Arga. Arazuri	08/02/2017	525	8.5	6.7			
4	Río Juslapeña. Arazuri	08/02/2017	461	8.76	7.5			
5	Río Arga. Ororbía	08/02/2017	515	8.43	7.1	309	509	118
6	Río Arakil. Asiain	08/02/2017	304	8.17	7.7	310.6	510.6	102
7	Río Arga. Ibero	08/02/2017	543	7.97	7			
8	Vertido sondeo 7	08/02/2017	217000	7.34	15.2	384.3	584.3	30
9	Surgencia Escombrera	08/02/2017	80500	7.44	14.5			
10	Drenaje Arrubias	08/02/2017	239000	7.19	6.3			
11	Drenaje Fábrica	08/02/2017	181400	7.88	33.5	311.4	511.4	46
12	Drenaje Meseta	08/02/2017	97500	7.41	13			
13	Drenaje Media Ladera	08/02/2017	88300	7.82	12.8			
14	Balsa Morea	08/02/2017	537	8.6	7			
15	Río Arakil. Ibero	08/02/2017	362	8.14	7.8			
16	Manantial de Ibero	08/02/2017	3850	7.69	14.1	327.8	527.8	195
17	Río Arga. Etxauri	08/02/2017	434	8.12	7.4			
18	Manantial de Etxauri	08/02/2017	4910	7.28	16.1	327	527	157
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	08/02/2017	404	7.9	7.2			
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	07/02/2017	467	8.07	9.2			
21	Manantial de Belascoáin	07/02/2017	5500	7.15	26.4	333.6	533.6	148
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	07/02/2017	411	7.96	9.3			
23-045	Sondeo Ibero P2 045m	09/02/2017	663	8.25	12	307.1	507.1	166
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	07/02/2017	26200	8.12	8.2	366.7	566.7	187
25	Río Salado. Puente de Viguria	07/02/2017	21800	8.56	9.6			
26	Río Arga. Puente la Reina	07/02/2017	381	8.16	8.9			
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	07/02/2017	376	8.15	8.9			
28	Río Elorz. Beriáin	08/02/2017	848	8.46	6.4			

CAMPAÑA DE MARZO DE 2017

Número	Localización	Fecha	C.E. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	pH	T ^a (°C)	ORP (mV)	Eh (mV)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)
1	Río Elorz. Estación SAICA	14/03/2017	1346	8.5	10.6			
2	Río Arga. Polígono Landaben	15/03/2017	292	8.3	8.9			
3	Río Arga. Arazuri	15/03/2017	349	8.3	9.4			
4	Río Juslapeña. Arazuri	15/03/2017	567	8.21	9.1			
5	Río Arga. Ororbía	15/03/2017	373	8.39	9.8			141
6	Río Arakil. Asiain	15/03/2017	348	8.24	9.6	293.2	493.2	199
7	Río Arga. Ibero	15/03/2017	373	8.38	10.4	303.5	503.5	
8	Vertido sondeo 7	14/03/2017	213000	7.54	22.7	276.6	476.6	139
9	Surgencia Escombrera	14/03/2017	67400	7.49	15			
10	Drenaje Arrubias	14/03/2017	238700	7.23	11.2	275.3	475.3	
11	Drenaje Fábrica	14/03/2017	242000	7.45	60.7	217.6	417.6	37
12	Drenaje Meseta	14/03/2017	121100	7.26	13.5			
13	Drenaje Media Ladera	14/03/2017	109600	7.42	13.6	227.3	427.3	
14	Balsa Morea	14/03/2017	526	8.05	12.6	198.5	398.5	
15	Río Arakil. Ibero	15/03/2017	626	8.31	10.9			
16	Manantial de Ibero	15/03/2017	6550	7.59	18.3	318.4	518.4	234
17	Río Arga. Etxauri	15/03/2017	477	8.26	10.4	295.4	495.4	154
18	Manantial de Etxauri	15/03/2017	4720	7.45	17.5	309.1	509.1	240
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	15/03/2017	384	8.41	10.8			
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	14/03/2017	345	8.31	12.2			
21	Manantial de Belascoáin	14/03/2017	5440	7.58	25.4	251.5	451.5	206
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	13/03/2017	291	8.32	10			
23-105	Sondeo Ibero P2 105m	14/03/2017	7320	7.15	16.7			
23-120	Sondeo Ibero P2 120m	15/03/2017	12600	6.55	20.3	-77.3	122.7	44
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	15/03/2017	71900	8.19	14.7	309.4	509.4	237
25	Río Salado. Puente de Viguria	15/03/2017	56500	8.56	15.6			
26	Río Arga. Puente la Reina	13/03/2017	377	8.54	10.1			124
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	13/03/2017	295	8.33	9.6			
28	Río Elorz. Beriáin	14/03/2017	863	8.4	10.5			
29	Río Sadar. Pamplona	14/03/2017	814	8.48	11.1			
30	Barranco de Lasterreca	14/03/2017	2640	8.26	11.9			
31	Regata de Eriete	14/03/2017	1105	8.2	10.6			
32	Regata Recaldeberri	14/03/2017	5890	8.55	11.9			
33	Regata de Idiazábal	14/03/2017	725	8.43	11.3			
34	Barranco Iturbi. Salinas de Pamplona	14/03/2017	10440	8.5	11.3			

CAMPAÑA DE JUNIO DE 2017

Número	Localización	Fecha	C.E. (μ S/cm)	pH	Tª (°C)	ORP (mV)	Eh (mV)	Alcalinidad (mg/l CaCO ₃)
1	Río Elorz. Estación SAICA	27/06/2017	4080	7.78	20.5			
2	Río Arga. Polígono Landaben	27/06/2017	360	8	21.9			
3	Río Arga. Arazuri	27/06/2017	2790	8.13	21.5			
4	Río Juslapeña. Arazuri	27/06/2017	333	7.97	18.8			
5	Río Arga. Ororbía	27/06/2017	2920	7.95	21.1	345.3	545.3	144
6	Río Arakil. Asiain	27/06/2017	673	8.11	21.1	329.9	529.9	162
7	Río Arga. Ibero	27/06/2017	2800	7.99	22.1			
8	Vertido sondeo 7	28/06/2017	223000	7.28	29.6	247.9	447.9	75
9	Surgencia Escombrera	28/06/2017	86200	7.41	15.1			
10	Drenaje Arrubias	28/06/2017	243000	7.01	18.5			
11	Drenaje Fábrica	28/06/2017	198300	7.68	36	218.4	418.4	46
12	Drenaje Meseta	28/06/2017	140800	6.79	15.5			
13	Drenaje Media Ladera	28/06/2017	106200	6.97	15.3			
14	Balsa Morea	28/06/2017	505	7.62	19.6			
15	Río Arakil. Ibero	27/06/2017	1560	8.15	22.9			
16	Manantial de Ibero	27/06/2017	6720	7.34	19.9	367.8	567.8	216
17	Río Arga. Etxauri	26/06/2017	969	8.07	23.8	313.2	513.2	169
18	Manantial de Etxauri	26/06/2017	4720	7.24	20.1	329.5	529.5	218
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	26/06/2017	958	8.23	24.2			
20	Río Arga. Aguas arriba Balneario Belascoáin	26/06/2017	1345	8.18	24.2			
21	Manantial de Belascoáin	26/06/2017	5310	7.05	28	341.7	541.7	225
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	26/06/2017	1317	8.09	24.6			
23-045	Sondeo Ibero P2 45m	27/06/2017	819	7.9	16.4	-55	145	286
23-098	Sondeo Ibero P2 98m	27/06/2017	4590	6.88	17.3	-171	29	
23-117	Sondeo Ibero P2 117m	27/06/2017	16620	6.61	18.2	-53	147	
23-118	Sondeo Ibero P2 118m	27/06/2017	9080	6.61	19	-165.9	34.1	49
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	27/06/2017	113300	7.8	25.1	328.1	528.1	189
25	Río Salado. Puente de Viguria	27/06/2017	88300	8.23	28.2			
26	Río Arga. Puente la Reina	26/06/2017	1118	8.06	25.5	333	533	139
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	26/06/2017	1243	8.44	25.6			
28	Río Elorz. Beriain	28/06/2017	2010	7.96	17.1			
29	Río Sadar. Pamplona	27/06/2017	607	8	19.4			
30	Barranco de Lastarreca	27/06/2017	20800	7.83	18.7			
31	Regata de Eriete	27/06/2017	1219	7.61	17.2			
32	Regata Recaldeberri	27/06/2017	45800	7.79	18.9			
33	Regata de Idiazábal	27/06/2017	530	7.82	18.9			
34	Barranco Iturbi. Salinas de Pamplona	28/06/2017	15010	7.99	17.5			

CAMPAÑA DE OCTUBRE DE 2017

Número	Localización	Fecha	C.E. (μS/cm)	pH	T^a (°C)
1	Río Elorz. Estación SAICA	03/10/2017	3480	8.03	18.0
2	Río Arga. Polígono Landaben	04/10/2017	363	8.23	17.3
3	Río Arga. Arazuri	04/10/2017	532	8.56	18.8
4	Río Juslapeña. Arazuri	04/10/2017	726	8.25	16.0
5	Río Arga. Ororbia	04/10/2017	656	8.11	19.0
6	Río Arakil. Asiain	04/10/2017	477	8.38	16.3
7	Río Arga. Ibero	04/10/2017	692	7.99	18.8
8	Vertido sondeo 7	04/10/2017	204000	7.34	34.8
9	Surgencia Escombrera	04/10/2017	109700	7.54	15.1
10	Drenaje Arrubias	04/10/2017	248000	7.09	17.8
11	Drenaje Fábrica	04/10/2017	144600	7.86	36.1
12	Drenaje Meseta	04/10/2017	157700	6.91	18.5
13	Drenaje Media Ladera	04/10/2017	135800	6.90	17.9
14	Balsa Morea	04/10/2017	422	8.03	19.0
15	Río Arakil. Ibero	04/10/2017	1199	8.20	18.3
16	Manantial de Ibero	04/10/2017	6420	7.42	19.4
17	Río Arga. Etxauri	04/10/2017	773	8.04	19.4
18	Manantial de Etxauri	04/10/2017	4570	7.37	20.3
19	Río Arga. Aguas arriba manantial Etxauri	04/10/2017	705	8.07	18.6
20	Río Arga. Aguas arriba Balnerario Belascoáin	03/10/2017	1029	8.09	19.2
21	Manantial de Belascoáin	03/10/2017	5430	7.21	27.6
22	Río Arga. Puente de Belascoáin	03/10/2017	1039	8.06	19.6
23-045	Sondeo Ibero P2 045m	04/10/2017	631	8.18	17.8
24	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	04/10/2017	132300	7.68	22.7
25	Río Salado. Puente de Viguria	04/10/2017	106500	8.12	23.8
26	Río Arga. Puente la Reina	03/10/2017	969	8.60	19.5
27	Río Arga. Aguas arriba Puente la Reina	03/10/2017	963	7.98	18.2
28	Río Elorz. Beriáin	04/10/2017	3580	8.00	15.5



Anexo 2

Informes de ensayo de constituyentes mayoritarios por cromatografía iónica



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO DE
AGRICULTURA Y
PESCA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME DE LABORATORIO

para

Centro de Estudios de Experimentación de Obras Pública (CEDEX)

”Aguas de Salinas de Navarra (2016)”

INFORME FINAL

Trabajo nº 7702

Madrid, octubre de 2017

Laboratorio de Geotecnia



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

•

”Aguas de Salinas de Navarra (2016)”
TRABAJO Nº T-7702

Número de trabajo: 7702

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Peticionario

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas
CEDEX
c/ Alfonso XII, 3 y 5
28014-MADRID

1.2 Asunto: muestras ensayadas

En este informe se recogen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre X muestra del trabajo T-7702 "Aguas de salinas de Navarra (2016)" cuyo número de registro y referencias se dan a continuación:

Número de muestra Laboratorio de Geotecnia	Referencia cliente	Fecha de recepción
M-8409	1 Botella de 1 litro Agua; Rio Arakil 20/09/2016	05/10/2016
M-8410	1 Botella de 1 litro Agua; Manantial de Belascoain 21/09/2017	05/10/2016
M-8411	1 Botella de 1 litro Agua; Manantial de Ibero 21/09/2017	05/10/2016
M-8412	1 Botella de 1 litro Agua; Rio Arga en Orobia 21/09/2018	05/10/2016
M-8413	1 Botella de 1 litro Agua; Manantial de Etxauri 21/09/2017	05/10/2016
M-8414	1 Botella de 1 litro Agua; Vertido S-7 21/09/2018	05/10/2016
M-8415	1 Botella de 1 litro Agua; Rio Arga en Etxauri 21/09/2018	05/10/2016
M-8416	1 Botella de 1 litro Agua; Rio Salado en Salinas 22/09/2019	05/10/2016
M-8417	1 Botella de 1 litro Agua; Rio Arga en Puente la Reina 22/09/2016	05/10/2016
M-8518	1 Botella de 1 litro Agua; Numero 8; Vertido Sondeo 7	23/12/16



CEDEX

Número de muestra Laboratorio de Geotecnia	Referencia cliente	Fecha de recepción
M-8519	1 Botella de 1 litro Agua; Numero 16; Manantial de Ibero	23/12/16
M-8520	1 Botella de 1 litro Agua; Numero 18; Manantial de Etxauri	23/12/16
M-8521	1 Botella de 1 litro Agua; Numero 21; Manantial de Belascoain	23/12/16
M-8522	1 Botella de 1 litro Agua; Numero 24; Rio Salado, Salinas de salinas de Oro	23/12/16

"Protocolos y Actas de ensayo"

ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC (UNE-EN ISO 10304-1:2009 + 14911:2000)

1. PROTOCOLO DE ENSAYO

1.1 Objeto y normativa

El objeto de este análisis químico es la determinación simultánea mediante la técnica analítica avanzada de cromatografía iónica (IC) del contenido total de aniones y cationes disueltos en muestras de aguas, ya sean de tipo subterráneas, superficiales, brutas, potables o residuales, así como en lixivididos y extractos acuosos. Los iones analizados son, en el caso de los aniones, el fluoruro (F^-), cloruro (Cl^-), nitrito (NO_2^-), bromuro (Br^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (HPO_4^{2-}) y sulfato (SO_4^{2-}), y en el caso de los cationes, el litio (Li^+), sodio (Na^+), amonio (NH_4^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}).

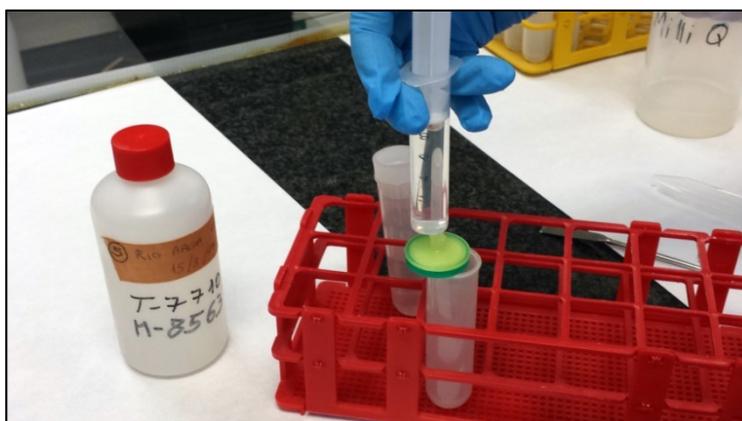
La metodología empleada en la realización de estos análisis se basa en los métodos dados en las normas **UNE-EN ISO 10304-1:2009** y **UNE-EN ISO 14911:2000**, relativas a la determinación por IC de aniones y cationes disueltos en muestras de agua, respectivamente.

A continuación se muestran las particularidades más significativas del procedimiento seguido:

1.2 Preparación de las muestras

El muestreo y manipulación de las muestras de agua se efectúa tal y como se especifica en las Normas UNE-EN ISO 5667-1 y UNE-EN ISO 5667-3, respectivamente.

Antes de su análisis es requisito imprescindible que la muestra sea filtrada con la ayuda de una jeringa a través de un filtro de nylon de tamaño de poro inferior a $0,45 \mu m$ adaptado a la boca de una jeringa, tal y como se muestra en la Fotografía 1.



Fotografía 1. Filtrado de muestra para análisis de iones disueltos

Es recomendable que este proceso de filtrado se lleve a cabo durante o inmediatamente después de la toma de la muestra, ya que así se evita la disolución parcial o total que podrían sufrir tanto sales como materia particulada que estuviera en suspensión, lo cual produciría un aumento de la concentración de iones en la muestra de agua.

A continuación, y siempre que su conductividad eléctrica inicial antes de su preparación sea mayor de $250 \mu S/cm$, se procede a la dilución de la muestra de agua, para así no contaminar el sistema ICP-OES con la muestra y no saturar el detector con señales analíticas demasiado intensas.

Para ello la muestra ya filtrada se diluye por un factor de dilución $f_{IC (M1-M2)}$ con agua desmineralizada de pureza Milli-Q, donde $f_{IC (M1-M2)}$ equivale al número entero de entre 1, 2, 3, 4, 5, 25, 50, 100, 250, 500 y 1000 igual o inmediatamente superior a la división del valor de la conductividad de la muestra, expresada en $\mu\text{S/cm}$, por un factor de 250.

Las diluciones con un factor $f_{IC (M1-M2)}$ comprendido entre 2 y 250 se realizan por duplicado de forma automatizada con la ayuda de un sistema Dosimat Plus 865 de la casa Metrohm con una unidad intercachable de 20 ml, mostrado en la Fotografía 2 y que permite controlar con gran exactitud tanto la velocidad de dosificación como los volúmenes de muestra y de disolución 2,5% v/v de ácido nítrico necesarios para obtener un total de 10 cm^3 de muestra diluida.



Fotografía 2. Sistema empleado para dilución de muestras

Por otra parte, las diluciones con un factor $f_{IC (M1-M2)}$ de 500 y 1000 se preparan por duplicado de forma manual introduciendo con micropipeta un volumen de muestra de $1 \pm 0,01 \text{ ml}$ en un matraz aforado de 500 ó 1.000 cm^3 , según sea el caso. Después se enrasa el matraz con agua Milli-Q, se tapa y se agita vigorosamente para asegurar su total dilución.

La conservación de las muestras tanto originales como preparadas se realiza en todo caso de acuerdo a las especificaciones dadas en la Norma UNE-EN ISO 5667-3. Lo más recomendable es guardarlas en frascos de polipropileno y conservarlas en el frigorífico durante un periodo máximo de 30 días a una temperatura de 2°C a 8°C hasta una hora antes de su medida, y así alcancen la temperatura ambiente para entonces.

En todo caso, el análisis de las muestras ha de realizarse antes de que transcurra un mes desde la toma de las muestras, para así evitar posibles cambios que éstas pudieran sufrir en su composición iónica por fenómenos tales como precipitación de cationes y otros.

1.3 Determinación del contenido de iones disueltos por IC

1.3.1. Sistema IC

La medida de las muestras se realiza con un cromatógrafo iónico modular “*Professional IC 850*” de la casa METROHM, mostrado en la Fotografía 3, y que dispone de configuración de doble canal para la determinación simultánea de aniones y cationes, de una unidad de ultrafiltración en línea y de un muestreador automático “*858 Professional Sample Processor*”.

Por otra parte, en la Tabla 1 se muestran los componentes instrumentales del cromatógrafo iónico IC.



Fotografía 3. Cromatógrafo iónico simultáneo del Laboratorio de Geotecnia

Tabla 1. Componentes principales del sistema IC

COMPONENTE	CARACTERÍSTICAS
Módulo de supresión química	Metrohm MSM II de 3 cartuchos para aniones
Supresor de CO₂	Tipo MCS (conductividad de fondo < 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
Sistema de desgasificación	De vacío (< 0,0085 MPa)
Columna aniónica	Metrosep A Supp 7 (15 MPa máx. y rango de pH: 3-12)
Columna catiónica	Metrosep C 3 (35 MPa máx. y rango de pH: 2-12)
Reconocimiento de columnas	Automático con tecnología iMetrosep
Detector	De conductividad idetector (0-15.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$)
Cámaras termostatzadas	Entre 20-50°C en detector ($\pm 0,01^\circ\text{C}$) Entre 5 y 80°C en columna aniónica ($\pm 0,05^\circ\text{C}$)
Bombas	2 Isocráticas de doble pistón (35 MPa máx. y 0,001-20 mL/min)
Válvulas inyectoras	2 de inyección eléctrica de 6 vías
Inyección de muestras	Automatizado con cargador de muestras
Cargador de muestras	858 Professional Sample Processor
Capacidad del cargador	119 tubos de 10 ml de muestra

Si se empleara un único método de análisis de IC que abarcara un rango de concentraciones que fuera de 0 a 100 mg/L, la curva de calibrado obtenida para cada uno de los iones analizados se puede descomponer de forma precisa en dos rectas de calibrado de distinta pendiente que convergen en torno a 2,5 mg/L.

Es por ello que una de las dos muestras preparadas con un factor de dilución $f_{IC(A)}$ se analiza mediante un primer método analítico denominado como IC-M1 y que se emplea para determinar concentraciones de iones disueltos superiores a 2,5 mg/L, ya que está calibrado para un rango de concentraciones comprendidas entre 2,5 y 100 mg/L.

De forma complementaria, la otra muestra preparada con factor $f_{IC (M1-M2)}$ se analiza mediante un segundo método analítico denominado IC-M2 y empleado para determinar concentraciones iguales o inferiores a 2,5 mg/L, ya que está calibrado para este intervalo de concentraciones.

El hecho de diluir la muestra antes de su análisis resulta imprescindible para no contaminar el sistema IC con la muestra y no saturar el detector con concentraciones lo suficientemente elevadas como para superar los 10.000 $\mu\text{S/cm}$, valor máximo de conductividad tolerable por el detector. No obstante, este proceso puede conllevar la dilución excesiva de algunos iones, de manera que su concentración quede por debajo del límite de detección del método IC-M2 y, por tanto, no pueda ser determinada.

Es por ello que para cubrir el máximo rango de contenidos de aniones y cationes solubles presentes en la muestra original, cuando ésta tiene una conductividad eléctrica superior a 10.000 $\mu\text{S/cm}$ se prepara una tercera dilución en agua Milli-Q, con un factor de dilución $f_{IC (M3)}$, que equivale al número entero de entre 1, 2, 3, 4, 5, 25 y 50 igual o inmediatamente superior a la división del valor de la conductividad de la muestra ($\mu\text{S/cm}$) por un factor de 10.000.

Esta tercera dilución se analiza mediante el método analítico denominado IC-M3, con la misma calibración que el método IC-M2 pero con distinta preparación de la muestra.

En la Tabla 2 se muestran las condiciones óptimas de operación del sistema IC usadas para el análisis simultáneo de aniones y de cationes solubles, que permiten reducir al mínimo los errores de medida, así como obtener la máxima relación señal/ruido, la mejor estabilidad del sistema y la mejor resolución entre las señales obtenidas. Cabe destacar que estas condiciones instrumentales son independientes del método analítico empleado (IC-M1, IC-M2 ó IC-M3).

Tabla 2. Condiciones de trabajo del sistema IC

PARÁMETRO	ANIONES	CATIONES
Columna analítica	Metrosep A Supp 7	Metrosep C 3
Precolumna	Metrosep A Supp 7 Guard	Metrosep C 3 Guard
Fase móvil	Na_2CO_3 3,6 mM	HNO_3 5,5 mM
Caudal de la fase móvil	0,7 mL/min	1,0 mL/min
Intervalo de presión	0-15 MPa	0-15 MPa
Volumen de inyección	20 μL	10 μL
Supresión química	H_2SO_4 50 mM	-
Temperatura de la columna	45°C	20-25°C
Temperatura del detector	40°C	40°C
Tiempo total de análisis	36 min	30 min

Para comprobar el estado del sistema IC, antes del análisis de las muestras se lleva a cabo el análisis de uno de los patrones multielementales descritos en el Apartado 1.3.2 para aniones y otro para cationes, ya que las concentraciones de iones medidas deben coincidir en condiciones óptimas con las realmente contenidas en estos patrones.

Cabe destacar que estos análisis

1.3.2. Calibración del sistema IC

Las disoluciones de muestra obtenidas se analizan mediante calibración externa, realizada diariamente antes de llevar a cabo el análisis de muestras.

En la calibración del sistema para el método IC se usan tres tipos diferentes de disoluciones patrón, todas ellas preparadas a partir de los siguientes seis patrones multielementales comerciales de calidad ultrapura, de los cuales los tres primeros se emplean para la calibración de aniones (A, B y C), y los tres siguientes para la de cationes:

- Patrón A: "Multielement standard solution, Anionic III for IC" (nº 786937, Panreac).
- Patrón B: "Multielement standard solution, Anionic IV for IC" (nº 786938, Panreac).
- Patrón C: "Primary multi-anion standard solution" (nº 89886, Fluka).
- Patrón D: "Multielement standard solution, Cationic II for IC" (nº 786941, Panreac).
- Patrón E: "Multielement standard solution, Cationic IV for IC" (nº786943, Panreac).
- Patrón F: "Primary multi-anion standard solution" (nº 89316, Fluka).

Para tal calibración se preparan diversas disoluciones patrón mediante la dilución con agua Milli-Q de los 6 patrones multielementales antes descritos de manera que ésta disponga para cada ion analizado de, al menos, cinco puntos de calibrado, con una concentración comprendida entre 2,5 y 100 mg/L para el método IC-M1, o entre 0,1 y 2,5 mg/L para los métodos IC-M2 e IC-M3, ya que ambos comparten la misma calibración.

En la Figura 1, a modo de ejemplo, se representa la relación que hay entre la concentración de los iones sulfato y calcio en las disoluciones patrón empleadas y el área de la señal obtenida en su calibración, tanto para el método IC-M1 (valores representados con una "X" y válidos para concentraciones mayores de 2,5 mg/L) como para los métodos IC-M2 e IC-M3 (representados con un círculo y válidos para concentraciones iguales o inferiores a 2,5 mg/L), de los que también se aporta su recta de calibrado.

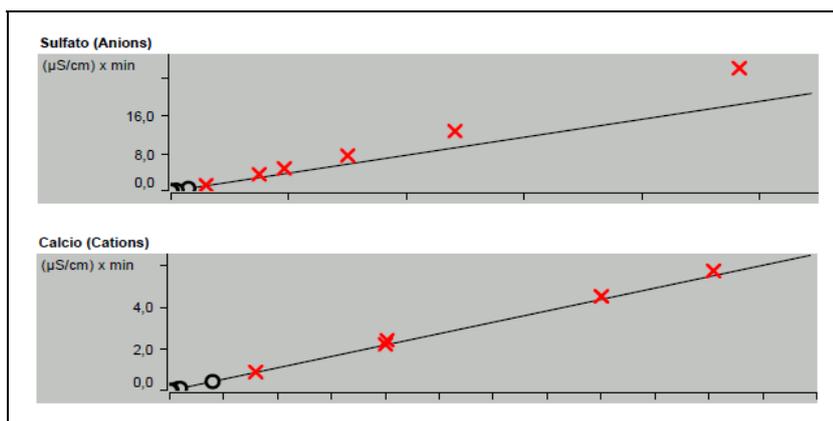


Figura 1. Rectas de calibrado obtenidas con el método IC-M2

En la figura anterior se puede comprobar que las rectas que unen cada tipo de puntos convergen en torno a un mismo punto, que es en torno a 2,5 mg/L.

1.3.3. Cromatogramas y tiempos de retención seleccionados

En el análisis por IC se obtienen unos gráficos llamados cromatogramas, uno de aniones y otro de cationes, en los que se representa variación de la conductividad eléctrica de la muestra que pasa por el detector en función de su tiempo de retención en la columna cromatográfica.

Estos gráficos están compuestos por una serie de picos, uno por ion analizado, donde el área de cada pico se relaciona con la señal de conductividad eléctrica de los patrones certificados con concentración de analito conocida. Por tanto, mediante las rectas de calibrado obtienen los valores en unidades de concentración de analito, expresados en mg/L.

En la Figura 2 se muestran el cromatograma de aniones y el de cationes obtenidos en el análisis en el sistema IC de una muestra de agua mediante el método IC-M1.

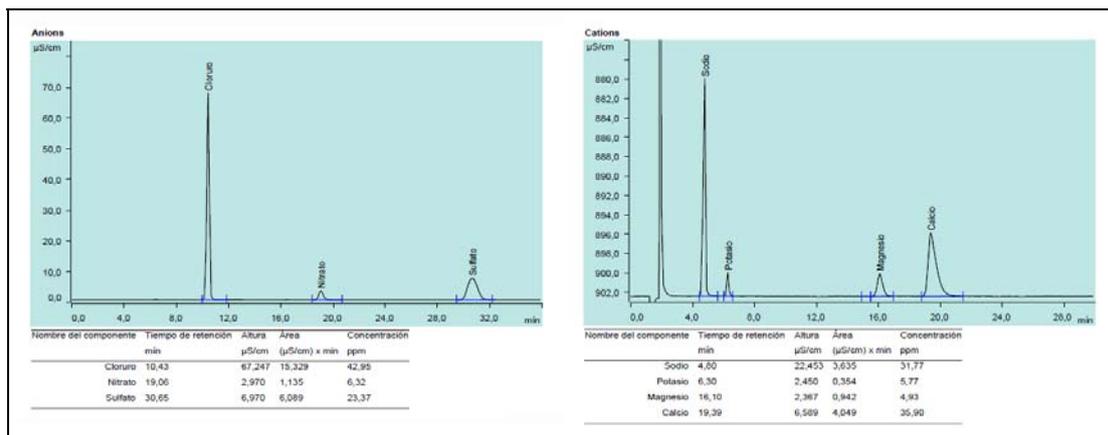


Figura 2. Cromatogramas IC obtenidos para una muestra de agua

En la Tabla 3 se muestran los tiempos de retención más adecuados para la determinación de los 13 iones estudiados. También se aportan las rectas de calibrado que relacionan para cada uno de los métodos empleados el área de la señal de conductividad detectada A (µS/cm x min) frente a la concentración C (mg/L) de los iones analizados, así como sus correspondientes coeficientes de determinación r^2 (cuadrado del cociente de correlación de Pearson).

Tabla 3. Tiempos seleccionados y parámetros de calibración de cada método

ION	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	MÉTODO IC-M1		MÉTODOS IC-M2 y IC-M3	
		Recta de calibrado Área de pico, $A = f[C]$ (µS/cm x min) (mg/L)	r^2	Recta de calibrado Área de pico = $f[C]$ (µS/cm x min) (mg/L)	r^2
F ⁻	6,76 ± 0,1	$A = 0,021 C + 0,07$	0,999576	$A = 0,024 C - 0,02$	0,999767
Cl ⁻	10,5 ± 0,2	$A = 0,018 C - 0,06$	0,999995	$A = 0,017 C - 0,03$	0,999218
NO ₂ ⁻	13,0 ± 0,2	$A = 0,012 C - 0,06$	0,999878	$A = 0,011 C - 0,02$	0,999418
Br ⁻	16,2 ± 0,2	$A = 0,008 C - 0,08$	0,999926	$A = 0,006 C - 0,01$	0,999352
NO ₃ ⁻	18,6 ± 0,3	$A = 0,010 C - 0,01$	0,999921	$A = 0,008 C - 0,01$	0,999327
HPO ₄ ²⁻	27,2 ± 0,4	$A = 0,005 C - 0,2$	0,999872	$A = 0,003 C - 0,002$	0,999727
SO ₄ ²⁻	30,5 ± 0,5	$A = 0,014 C - 0,2$	0,999653	$A = 0,010 C - 0,009$	0,999692
Li ⁺	4,0 ± 0,1	$A = 0,021 C - 0,003$	0,999955	$A = 0,021 C - 0,003$	0,999955
Na ⁺	4,7 ± 0,2	$A = 0,006 C - 0,002$	0,999991	$A = 0,006 C + 0,004$	0,999639
NH ₄ ⁺	5,2 ± 0,2	$A = 0,007 C - 0,04$	0,999914	$A = 0,007 C - 0,002$	0,999998
K ⁺	6,3 ± 0,3	$A = 0,003 C - 0,001$	0,999993	$A = 0,003 C + 0,002$	0,999987
Mg ²⁺	16,3 ± 0,4	$A = 0,010 C - 0,02$	0,999831	$A = 0,010 C - 0,01$	0,999069
Ca ²⁺	20,1 ± 0,5	$A = 0,006 C + 0,01$	0,999962	$A = 0,005 C + 0,004$	0,999360

1.3.4. Límites de detección

Los límites de detección (L.D.) del sistema IC fueron calculados siguiendo las normas de la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC), como tres veces la desviación estándar de las medidas realizadas con el método IC-M2 de 10 blancos y 10 disoluciones tanto del patrón B como del patrón E preparadas con un factor de dilución de 50 en agua Milli-Q.

En la Tabla 4 se muestran los límites de detección del sistema IC obtenidos con el método analítico IC-M2, expresados en mg/L.

Tabla 4. Límites de detección de los métodos empleados

ANALITO	TIEMPO DE RETENCIÓN (min)	LÍMITES DE DETECCIÓN (mg/L)
		MÉTODOS IC-M2 y IC-M3
Cl ⁻	6,76 ± 0,1	0,002
F ⁻	10,5 ± 0,2	0,002
NO ₂ ⁻	13,0 ± 0,2	0,001
Br ⁻	16,2 ± 0,2	0,002
NO ₃ ⁻	18,6 ± 0,3	0,003
HPO ₄ ²⁻	27,2 ± 0,4	0,006
SO ₄ ²⁻	30,5 ± 0,5	0,008
Li ⁺	4,0 ± 0,1	0,02
Na ⁺	4,7 ± 0,2	0,04
NH ₄ ⁺	5,2 ± 0,2	0,03
K ⁺	6,3 ± 0,3	0,02
Mg ²⁺	16,3 ± 0,4	0,04
Ca ²⁺	20,1 ± 0,5	0,07

Estos valores son equivalentes a los del método IC-M3 ya que, al igual que ocurre con el método IC-M2, se usa para medir concentraciones de iones por debajo de 2,5 mg/L en la muestra preparada, solo que el factor de dilución en este caso es $f_{IC (M3)}$ y no $f_{IC (M1-M2)}$, factor empleado para el método IC-M2.

Se puede observar que límites de detección de los aniones son aproximadamente 10 veces inferiores que los de los cationes para un tiempo de retención similar.

En el caso de lixiviados estos límites se podrían expresar en mg/kg aplicando la Ecuación 1, con objeto de referirlos al peso de muestra sólida, donde M es el peso de la muestra lixiviada y V es el volumen total en el que se ha realizado su extracción acuosa, expresados respectivamente en g y ml.

$$\text{L.D. (mg/kg)} = \text{L.D. (mg/L)} \cdot \frac{V \text{ (ml)}}{M \text{ (g)}} \cdot 10^{-3}$$

[Ecuación 1]



CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

2. ANÁLISIS DE MUESTRAS Y EXPRESIÓN DE RESULTADOS

Los resultados completos de estos ensayos se muestran en las actas de ensayos recogidas en su correspondiente Anejo, en las que se aportan los contenidos en muestra, valores expresados en mg/L, de los siguientes iones analizados: fluoruro (F^-), cloruro (Cl^-), nitrito (NO^-), bromuro (Br^-), nitrato (NO_3^-), fosfato (HPO_4^{2-}) y sulfato (SO_4^{2-}), y en el caso de los cationes, el litio (Li^+), sodio (Na^+), amonio (NH_4^+), potasio (K^+), magnesio (Mg^{2+}) y calcio (Ca^{2+}).

En dichas actas también se aportan los factores de dilución en volumen $f_{IC (M1-M2)}$ y $f_{IC (M3)}$, a los que se ha tenido que diluir cada una de las muestras antes de su medición en el sistema IC con los métodos IC-M1/IC-M2 ó IC-M3, respectivamente, indicándose si la muestra ha sido filtrada por un tamaño de poro inferior a $0,45 \mu m$.



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8409
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,12 mg/L
Cloruro	45,3 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,09 mg/L
Nitrato	5,10 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	17,2 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	29,5 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	5,18 mg/L
Magnesio	4,14 mg/L
Calcio	64,4 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

MINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8410
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,18 mg/L
Cloruro	1,55 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,59 mg/L
Nitrato	0,37 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	73,3 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	764 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	7,00 mg/L
Magnesio	81,8 mg/L
Calcio	285 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8411
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	SI
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,07 mg/L
Cloruro	2,13 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	3,09 mg/L
Nitrato	5,25 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	110 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	1,14 g/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	56,8 mg/L
Magnesio	77,3 mg/L
Calcio	286 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8412
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,16 mg/L
Cloruro	85,9 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,16 mg/L
Nitrato	12,6 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	46,7 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	63,5 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	11,5 mg/L
Magnesio	9,86 mg/L
Calcio	71,8 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8413
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,10 mg/L
Cloruro	1,44 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	2,66 mg/L
Nitrato	4,75 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	75,5 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	648 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	36,0 mg/L
Magnesio	72,8 mg/L
Calcio	324 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8414
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	50

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	1,65 mg/L
Cloruro	109 g/L
Nitrito	< 0,50 mg/L
Bromuro	114 mg/L
Nitrato	7,35 mg/L
Fosfato	< 0,50 mg/L
Sulfato	4,4 g/L
Litio	< 5,00 mg/L
Sodio	69,8 g/L
Amonio	< 5,00 mg/L
Potasio	3,04 g/L
Magnesio	1,06 g/L
Calcio	2,2 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8415
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	SI
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,14 mg/L
Cloruro	142 mg/L
Nitrito	0,32 mg/L
Bromuro	0,23 mg/L
Nitrato	7,00 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	30,5 mg/L
Litio	0,18 mg/L
Sodio	81,7 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	6,86 mg/L
Magnesio	9,32 mg/L
Calcio	76,4 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8416
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	500
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	< 0,25 mg/L
Cloruro	56,2 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	32,0 mg/L
Nitrato	< 0,25 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	38,7 mg/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	36,7 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	375 mg/L
Magnesio	295 mg/L
Calcio	2,72 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8417
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	SI
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	5
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,25 mg/L
Cloruro	176 mg/L
Nitrito	0,24 mg/L
Bromuro	0,22 mg/L
Nitrato	5,20 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	33,5 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	110 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	6,90 mg/L
Magnesio	9,25 mg/L
Calcio	81,4 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8518
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	50

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	42,0 mg/L
Cloruro	131 g/L
Nitrito	< 0,50 mg/L
Bromuro	104 mg/L
Nitrato	9,30 mg/L
Fosfato	< 0,50 mg/L
Sulfato	6,90 g/L
Litio	< 5,00 mg/L
Sodio	83,2 g/L
Amonio	< 5,00 mg/L
Potasio	4,33 g/L
Magnesio	1,63 g/L
Calcio	1,28 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

MINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8519
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,08 mg/L
Cloruro	2,09 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	2,93 mg/L
Nitrato	4,25 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	114 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	1,12 g/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	58,0 mg/L
Magnesio	71,3 mg/L
Calcio	262 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8520
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,11 mg/L
Cloruro	1,44 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	2,62 mg/L
Nitrato	4,25 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	78,3 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	655 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	29,3 mg/L
Magnesio	68,3 mg/L
Calcio	293 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8521
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	SI
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,19 mg/L
Cloruro	1,61 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,65 mg/L
Nitrato	0,42 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	76,8 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	782 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	4,50 mg/L
Magnesio	82,5 mg/L
Calcio	278 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7702 Aguas Salinas de Navarra (2016)
Muestra: M-8522
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	500
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	10

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	25,0 mg/L
Cloruro	36,7 g/L
Nitrito	< 0,10 mg/L
Bromuro	23,1 mg/L
Nitrato	8,80 mg/L
Fosfato	< 0,10 mg/L
Sulfato	2,93 g/L
Litio	< 1,00 mg/L
Sodio	24,0 g/L
Amonio	< 1,00 mg/L
Potasio	255 mg/L
Magnesio	205 mg/L
Calcio	1,83 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO DE
AGRICULTURA Y
PESCA,
ALIMENTACIÓN Y
MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

INFORME DE LABORATORIO

para

Centro de Estudios de Experimentación de Obras Pública (CEDEX)

”Aguas de Salinas de Navarra (2017)”

INFORME FINAL

Trabajo nº 7710

Madrid, octubre de 2017

Laboratorio de Geotecnia



GOBIERNO
DE ESPAÑA

MINISTERIO
DE FOMENTO

MINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

•

”Aguas de Salinas de Navarra (2017)”
TRABAJO Nº T-7710

Número de trabajo: 7710

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Peticionario

Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas
CEDEX
c/ Alfonso XII, 3 y 5
28014-MADRID

1.2 Asunto: muestras ensayadas

En este informe se recogen los resultados de los ensayos de laboratorio realizados sobre 33 muestra del trabajo T-7710 "Aguas de salinas de Navarra (2016)" cuyo número de registro y referencias se dan a continuación:

Número de muestra Laboratorio de Geotecnia	Referencia cliente	Fecha de recepción
M-8539	1 Botella de Agua; Nº 5 Rio Arga, Ororbia; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16390	14/02/2017
M-8540	1 Botella de Agua; Nº 6 Rio Rio Arakil. Asiain; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16391	
M-8541	1 Botella de Agua; Nº 8 Rio Rio Vertido Sondeo 7; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16392	
M-8542	1 Botella de Agua; Nº 11 Denaje Fabrica; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16393	
M-8543	1 Botella de Agua; Nº 16 Manantial de Íbero; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16396	
M-8544	1 Botella de Agua; Nº 18 Manantial de Etxauri; Fecha 8/02/17. Nº. Ref.16398	
M-8545	1 Botella de Agua; Nº 21 Manantial de Belascoáin; Fecha 7/02/17. Nº. Ref.16399	
M-8546	1 Botella de Agua; Nº 23-045 Sondeo Ibero P.2; Fecha 9/02/17. Nº. Ref.16400	
M-8547	1 Botella de Agua; Nº 24 Rio Salado. Salinas de Oro; Fecha 7/02/17. Nº. Ref.16401	



CEDEX

Número de muestra Laboratorio de Geotecnia	Referencia cliente	Fecha de recepción
M-8563	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 5; Rio Arga, Ororbia, 15/3/2017	21/03/2017
M-8564	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 6; Rio Arakil Asiain, 15/3/2017	
M-8565	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 8; Vertido Sondeo 7, 14/3/2017	
M-8566	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 11; Drenaje Fabrica, 14/3/2017	
M-8567	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 16; Manantial Ibero, 15/3/2017	
M-8568	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 17; Rio Arga Etxauri, 15/3/2017	
M-8569	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 18; Manantial Etxauri, 15/3/2017	
M-8570	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 21; Manantial de Belascoain, 14/3/2017	
M-8571	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 23-120; Sondeo Ibero, 14/3/2017	
M-8572	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 23-125; Sondeo Ibero, 125 metros; 15/3/2017	
M-8573	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 24; Rio Salado, Salinas de salinas de Oro; 15/3/2017	
M-8574	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Nº 26; Rio Arga, Puente la Reina, 13/3/2017	
M-8775	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Rio Arakil, Asiain Nº6	
M-8776	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítri- co;Vertido Sondeo 7 Nº8	
M-8777	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Drenaje Fabrica Nº11	
M-8778	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Manantial Ibero Nº16	
M-8779	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Rio Arga, Etxauri Nº17	
M-8780	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Manantial de Etxauri Nº18	
M-8781	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Manantial de Belascoain Nº21	
M-8782	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Sondeo Ibero P2 45m	



Número de muestra Laboratorio de Geotecnia	Referencia cliente	Fecha de recepción
M-8783	1 Botella de Agua; Sondeo Ibero P2 117m N°23-117	25/07/2017
M-8784	1 Botella de Agua con Ácido Nítrico; Sondeo Ibero P2 118m N°23-117	
M-8785	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Rio Salado, Salinas de Salinas de Oro N°24	
M-8786	2 Botellas de Agua; 1 de ella con Ácido Nítrico; Rio Arga, Puente la Reina N°26	

"Actas de ensayo"

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8539
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,15 mg/L
Cloruro	59,4 mg/L
Nitrito	0,33 mg/L
Bromuro	0,08 mg/L
Nitrato	16,2 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	23,4 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	39,9 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	3,28 mg/L
Magnesio	6,02 mg/L
Calcio	68,8 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8540
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,10 mg/L
Cloruro	12,7 mg/L
Nitrito	0,27 mg/L
Bromuro	0,06 mg/L
Nitrato	5,85 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	9,80 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	8,25 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	1,61 mg/L
Magnesio	2,77 mg/L
Calcio	56,1 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA.
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)**Muestra:** M-8541**Técnico:** Isabel Herrero Alonso**Responsable:** Rafael Rodríguez Abad**Fecha:** 07/03/2017**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	< 0,25 mg/L
Cloruro	98,8 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	73,8 mg/L
Nitrato	9,75 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	4,10 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	64,1 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	2,21 g/L
Magnesio	680 mg/L
Calcio	1,90 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8542
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	< 0,25 mg/L
Cloruro	80,7 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	56,8 mg/L
Nitrato	9,75 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	4,82 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	52,5 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	2,25 g/L
Magnesio	670 mg/L
Calcio	960 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8543
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,16 mg/L
Cloruro	1,08 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,47 mg/L
Nitrato	8,00 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	69,3 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	578 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	36,3 mg/L
Magnesio	44,8 mg/L
Calcio	196 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA.
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8544
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,12 mg/L
Cloruro	1,43 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	2,73 mg/L
Nitrato	5,00 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	79,8 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	647 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	34,3 mg/L
Magnesio	72,3 mg/L
Calcio	306 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8545
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,21 mg/L
Cloruro	1,67 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,84 mg/L
Nitrato	0,62 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	80,5 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	810 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	8,75 mg/L
Magnesio	85,3 mg/L
Calcio	273 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8546
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,20 mg/L
Cloruro	64,2 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,10 mg/L
Nitrato	0,18 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	39,7 mg/L
Litio	0,10 mg/L
Sodio	64,5 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	3,30 mg/L
Magnesio	27,7 mg/L
Calcio	38,6 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8547
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/03/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	100
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,06 mg/L
Cloruro	8,31 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,78 mg/L
Nitrato	23,0 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	829 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	5,51 g/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	53,0 mg/L
Magnesio	56,0 mg/L
Calcio	508 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8563
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,09 mg/L
Cloruro	22,0 mg/L
Nitrito	0,17 mg/L
Bromuro	0,07 mg/L
Nitrato	4,79 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	18,9 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	15,5 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	2,19 mg/L
Magnesio	6,21 mg/L
Calcio	58,2 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8564
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,08 mg/L
Cloruro	11,8 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,06 mg/L
Nitrato	4,76 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	10,6 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	8,40 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	1,01 mg/L
Magnesio	3,21 mg/L
Calcio	65,6 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8565
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1250
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	1,03 mg/L
Cloruro	113 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	130 mg/L
Nitrato	< 0,25 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	5,47 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	72,3 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	4,21 g/L
Magnesio	1,00 g/L
Calcio	< 2,50 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8566
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1250
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	50

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	1,90 mg/L
Cloruro	180 g/L
Nitrito	< 0,50 mg/L
Bromuro	180 mg/L
Nitrato	< 0,50 mg/L
Fosfato	< 0,50 mg/L
Sulfato	8,01 g/L
Litio	< 5,00 mg/L
Sodio	114 g/L
Amonio	< 5,00 mg/L
Potasio	7,70 g/L
Magnesio	2,03 g/L
Calcio	628 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8567
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,15 mg/L
Cloruro	1,97 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	3,40 mg/L
Nitrato	4,93 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	104 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	1,06 g/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	59,1 mg/L
Magnesio	58,1 mg/L
Calcio	240 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8568
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,12 mg/L
Cloruro	50,7 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,11 mg/L
Nitrato	5,07 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	14,8 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	27,6 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	2,27 mg/L
Magnesio	5,59 mg/L
Calcio	70,2 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA.
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8569
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,11 mg/L
Cloruro	1,38 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	2,52 mg/L
Nitrato	4,68 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	73,6 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	624 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	33,9 mg/L
Magnesio	72,2 mg/L
Calcio	284 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8570
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,19 mg/L
Cloruro	1,65 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,75 mg/L
Nitrato	0,42 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	74,7 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	797 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	5,75 mg/L
Magnesio	69,8 mg/L
Calcio	282 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8571
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,24 mg/L
Cloruro	2,41 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	4,03 mg/L
Nitrato	< 0,01 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	21,1 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	660 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	33,9 mg/L
Magnesio	84,2 mg/L
Calcio	662 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8572
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	50
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,18 mg/L
Cloruro	4,38 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	4,70 mg/L
Nitrato	0,37 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	19,0 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	470 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	25,1 mg/L
Magnesio	150 mg/L
Calcio	1,87 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8573
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	250
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	5

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,25 mg/L
Cloruro	25,5 g/L
Nitrito	< 0,05 mg/L
Bromuro	18,0 mg/L
Nitrato	11,4 mg/L
Fosfato	< 0,05 mg/L
Sulfato	1,90 g/L
Litio	< 0,50 mg/L
Sodio	16,6 g/L
Amonio	< 0,50 mg/L
Potasio	158 mg/L
Magnesio	126 mg/L
Calcio	1,09 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8574
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 26/05/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,09 mg/L
Cloruro	25,2 mg/L
Nitrito	0,14 mg/L
Bromuro	0,07 mg/L
Nitrato	4,81 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	15,0 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	13,7 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	6,93 mg/L
Magnesio	4,59 mg/L
Calcio	60,0 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8774
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	10
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,13 mg/L
Cloruro	798 mg/L
Nitrito	13,0 mg/L
Bromuro	0,45 mg/L
Nitrato	< 0,01 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	62,2 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	523 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	18,4 mg/L
Magnesio	1,70 mg/L
Calcio	85,4 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8775
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	2
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,10 mg/L
Cloruro	104 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,11 mg/L
Nitrato	8,08 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	21,7 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	66,5 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	5,40 mg/L
Magnesio	5,74 mg/L
Calcio	77,2 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8776
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	1,50 mg/L
Cloruro	> 100 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	92,0 mg/L
Nitrato	< 0,25 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	5,09 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	86,5 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	2,65 g/L
Magnesio	860 mg/L
Calcio	2,60 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8777
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	1000
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	1,25 mg/L
Cloruro	110 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	65,0 mg/L
Nitrato	5,00 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	2,39 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	72,0 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	1,49 g/L
Magnesio	570 mg/L
Calcio	1,50 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA,
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8778
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,16 mg/L
Cloruro	2,05 g/L
Nitrito	5,25 mg/L
Bromuro	3,03 mg/L
Nitrato	< 0,01 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	102 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	1,11 g/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	62,3 mg/L
Magnesio	72,5 mg/L
Calcio	263 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8779
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	3
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,13 mg/L
Cloruro	189 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,27 mg/L
Nitrato	8,58 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	40,4 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	113 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	12,0 mg/L
Magnesio	11,6 mg/L
Calcio	73,9 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTOMINISTERIO
DE AGRICULTURA Y PESCA.
ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE**CEDEX**
CENTRO DE ESTUDIOS
Y EXPERIMENTACIÓN
DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX

Laboratorio de Geotecnia

Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8780
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,11 mg/L
Cloruro	1,39 g/L
Nitrito	4,50 mg/L
Bromuro	2,51 mg/L
Nitrato	< 0,01 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	75,0 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	642 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	32,3 mg/L
Magnesio	70,0 mg/L
Calcio	291 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



GOBIERNO DE ESPAÑA

MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICASCEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8781
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	25
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,19 mg/L
Cloruro	1,63 g/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	1,78 mg/L
Nitrato	0,27 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	69,1 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	789 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	4,75 mg/L
Magnesio	85,0 mg/L
Calcio	288 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8782
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	3
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,23 mg/L
Cloruro	160 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,15 mg/L
Nitrato	0,24 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	58,6 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	121 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	0,66 mg/L
Magnesio	29,6 mg/L
Calcio	75,6 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE



CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8783
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	50
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	2

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	0,14 mg/L
Cloruro	6,15 g/L
Nitrito	< 0,02 mg/L
Bromuro	5,02 mg/L
Nitrato	< 0,02 mg/L
Fosfato	< 0,02 mg/L
Sulfato	46,5 mg/L
Litio	< 0,20 mg/L
Sodio	397 mg/L
Amonio	< 0,20 mg/L
Potasio	18,5 mg/L
Magnesio	148 mg/L
Calcio	2,95 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8785
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Sí
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	500
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	25

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	< 0,25 mg/L
Cloruro	48,2 g/L
Nitrito	< 0,25 mg/L
Bromuro	29,0 mg/L
Nitrato	8,00 mg/L
Fosfato	< 0,25 mg/L
Sulfato	3,76 g/L
Litio	< 2,50 mg/L
Sodio	31,1 g/L
Amonio	< 2,50 mg/L
Potasio	355 mg/L
Magnesio	235 mg/L
Calcio	2,30 g/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



MINISTERIO DE FOMENTO

MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE

CEDEX
CENTRO DE ESTUDIOS Y EXPERIMENTACIÓN DE OBRAS PÚBLICAS

CEDEX
Laboratorio de Geotecnia
Alfonso XII, 3-5 - Madrid

Trabajo: T-7710 Aguas Salinas de Navarra (2017)
Muestra: M-8786
Técnico: Isabel Herrero Alonso
Responsable: Rafael Rodríguez Abad
Fecha: 07/08/2017

**ANÁLISIS DE AGUAS MEDIANTE IC
(UNE-EN ISO 10304-1:2009 y 14911:2000)**

Muestra filtrada por < 0,45 µm:	Si
Factor dilución métodos M1 y M2, $f_{IC (M1-M2)}$:	4
Factor dilución método M3, $f_{IC (M3)}$:	1

CONCENTRACIÓN DE IONES DISUELTOS

Ion disuelto	Concentración
Fluoruro	< 0,01 mg/L
Cloruro	249 mg/L
Nitrito	< 0,01 mg/L
Bromuro	0,36 mg/L
Nitrato	1,21 mg/L
Fosfato	< 0,01 mg/L
Sulfato	37,3 mg/L
Litio	< 0,10 mg/L
Sodio	136 mg/L
Amonio	< 0,10 mg/L
Potasio	15,5 mg/L
Magnesio	13,8 mg/L
Calcio	78,3 mg/L

Observaciones:

1) Concentraciones ya multiplicadas por el factor de dilución con el que se preparó la muestra para el análisis del ion



Anexo 3

Informes de ensayo de metales y compuestos orgánicos por HS-GC/MS (Headspace Gas Chromatography/Mass Spectrometry)



CNTA - Laboratorio del Ebro
A la atención de Estela Siguenza
Carretera NA-134, Km 50
31570 SAN ADRIÁN (NAVARRA)
SPAIN

Certificado de análisis

Fecha: 22-Feb-2017

Adjunto le enviamos los resultados analíticos de los siguientes análisis.

Número de certificado/versión	2017017041/1
Número de proyecto	PROYECTO CHE
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE
Número de pedido	PCSB170210
Muestras recibidas el	10-Feb-2017

Este Certificado de Análisis solamente puede ser reproducido íntegramente.
Los resultados están solamente conectados a los artículos analizados.

Las muestras de suelo se guardarán durante un periodo de 4 semanas y las muestras de agua por un periodo de 2 semanas después de la recepción de las muestras en nuestro laboratorio. Salvo aviso contrario, las muestras serán eliminadas después de vencer los periodos arriba mencionados. Si quisiera que Analytico guarde las muestras por un periodo más largo, sírvase rellenar y firmar esta página y enviarla a Analytico por lo menos una semana antes de que caduque este periodo. Los costes de los periodos de almacenamiento prolongado figuran en nuestra lista de tarifas.

Periodo de almacenamiento:

Fecha:

Nombre:

Firma:

Confiamos en haber ejecutado el pedido según sus expectativas. Si tuviera cualquier pregunta acerca de este Certificado de Análisis, no dude en contactar nuestro Servicio al Cliente.

Atentamente,

Eurofins Analytico B.V.



Ing. A. Veldhuizen
Jefe de laboratorio

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).

Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	1/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Pretratamiento de muestra						
Análisis físico-químicos						
Factor de corr. EC-temp. (matemático)		1.119	1.108	1.111	1.116	1.106
Q Conductividad eléctrica 25 °C	µS/cm	5600	220000	520	310	3800
Q Conductividad eléctrica 25 °C	mS/m	560	22000	52	31	380
Q Conductividad eléctrica 20 °C	mS/m	500	20000	47	28	340
Temperatura de medición (EC)	°C	19.9	20.3	20.2	20.0	20.4
Temperatura de medición (pH)	°C	20.0	20.1	20.1	20.0	20.1
Q pH		7.2	7.2 ²⁾	7.7	7.8	7.4
Metales						
Q Arsénico (As)	µg/L	3.9	12	<3.0	<3.0	<3.0
Q Antimonio (Sb)	µg/L	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Q Bario (Ba)	µg/L	270	250	25	13	95
Q Berilio (Be)	µg/L	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Q Cadmio (Cd)	µg/L	<0.40	2.1	<0.40	<0.40	<0.40
Q Cromo (Cr)	µg/L	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0	<2.0
Q Cobalto (Co)	µg/L	<1.0	2.3	<1.0	<1.0	<1.0
Q Cobre (Cu)	µg/L	<3.0	21	<3.0	<3.0	5.8
Q Mercurio (Hg)	µg/L	<0.040	1.2	<0.040	<0.040	<0.040
Q Plomo (Pb)	µg/L	<3.0	26	<3.0	<3.0	<3.0
Q Molibdeno (Mo)	µg/L	<2.0	3.3	<2.0	<2.0	<2.0
Q Níquel (Ni)	µg/L	6.7	12	3.0	3.5	3.3
Q Selenio (Se)	µg/L	<5.0	11	<5.0	<5.0	<5.0
Q Estaño (Sn)	µg/L	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0	<5.0
Q Vanadio (V)	µg/L	<2.0	7.4	<2.0	<2.0	<2.0
Q Zinc (Zn)	µg/L	<5.0	25	8.4	5.0	22
Hidrocarburos Orgánicos Volátiles						
Q Benceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Etilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Tolueno	µg/L	<0.10	<0.10	0.17	<0.10	<0.10

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: AS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	2/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q o-Xileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q m,p-Xileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Xilenos (sum)	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Estireno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2,4-Trimetilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,3,5-Trimetilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q n-Propilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Isopropilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q n-Butilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q sec-Butilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q tert-Butilbenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q p-Cimeno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Fenoles						
Q Fenol	µg/L	<0.5	1.3	<0.5	<0.5	<0.5
Q o-Cresol	µg/L	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Q m-Cresol	µg/L	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Q p-Cresol	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Cresoles (suma)	µg/L	<0.80	<0.80	<0.80	<0.80	<0.80
Q 2,4-Dimetilfenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,5-Dimetilfenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,6-Dimetilfenol	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q 3,4-Dimetilfenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q o-Etilfenol	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q m-Etilfenol	µg/L	<0.02	0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Timol	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 2,3/3,5-Dimetilfenol + 4-Etilfenol	µg/L	0.03	0.16 ¹⁾	<0.02	<0.02	<0.02
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos						
Q Naftaleno	µg/L	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4	<0.4
Q Acenaftileno	µg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Q Acenafteno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Fluoreno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	3/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q Fenantreno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Antraceno	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q Fluoranteno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Pireno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Benzo(a)antraceno	µg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Q Criseno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Benzo(b+k)fluoranteno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Benzo(a)pireno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Dibenzo(ah)antraceno	µg/L	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Q Benzo(ghi)perileno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Indeno(123cd)pireno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q HAP 16 EPA (suma)	µg/L	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1	<1.1
Hidrocarburos halógenos Volátiles						
Q Clorometano	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Diclorometano	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Cloruro de vinilo	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q 1,1-Dicloroetileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q trans 1,2-Dicloroetileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q cis1,2-Dicloroetileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Cloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Triclorofluorometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Triclorometano	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Tetraclorometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,1-Dicloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dicloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,1,1-Tricloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,1,2-Tricloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Tricloroetano (suma)	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q 1,1,1,2-Tetracloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,1,2,2-Tetracloroetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Tetracloroetano (suma)	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	4/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q Tricloroetileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Tetracloroetileno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 2,2-Dicloropropano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dicloropropano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,3-Dichloropropane	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2,3-Tricloropropano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,1-Dicloro-1-propeno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q cis1,3-Dicloropropeno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q trans 1,3-Dicloropropeno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,3-Dicloropropeno (suma)	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Bromometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Bromoclorometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Dibromometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dibromoetano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Tribromometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Bromodiclorometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Dibromoclorometano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2-Dibromo-3-cloropropano	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Bromobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Clorobencenos						
Q Monoclorobenceno	µg/L	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050	<0.050
Q 1,2,3-Triclorobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,2,4-Triclorobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,3,5-Triclorobenceno	µg/L	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Q Triclorobencenos (suma)	µg/L	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21	<0.21
Q 1,2,3,4-Tetraclorobenceno	µg/L	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Q 1245&1235 Tetraclorobenceno	µg/L	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Q Tetraclorobencenos (suma)	µg/L	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040	<0.040
Q Pentaclorobenceno (como POC/PC)	µg/L	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Q Hexaclorobenceno	µg/L	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030	<0.030
Q 1,2-Diclorobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	5/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q 1,3-Diclorobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q 1,4-Diclorobenceno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Diclorobencenos (suma)	µg/L	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30	<0.30
Clorofenoles						
Q o-Clorofenol	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q m-Clorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q p-Clorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Monoclorofenoles (suma)	µg/L	<0.14	<0.14	<0.14	<0.14	<0.14
Q 2,3-Diclorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,4/2,5-Diclorofenol	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 2,6-Diclorofenol	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q 3,4-Diclorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 3,5-Diclorofenol	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q Diclorofenoles (suma)	µg/L	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
Q 2,3,4-Triclorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,3,5-/2,4,5-Triclorofenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,3,6-Triclorofenol	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 2,4,6-Triclorofenol	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Q 3,4,5-Triclorofenol	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q Triclorofenoles (suma)	µg/L	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11	<0.11
Q 2,3,4,5-Tetraclorofenol	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 2,3,4,6 / 2,3,5,6-Tetraclorofenol	µg/L	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020	<0.020
Q Tetraclorofenoles (suma)	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q Pentaclorofenol	µg/L	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010	<0.010
Q 4-Cloro-3-metilfenol	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Bifenilos Policlorados						
Q PCB 28	µg/L	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01
Q PCB 52	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q PCB 101	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q PCB 118	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q PCB 138	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	6/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterráneas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q PCB 153	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q PCB 180	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q PCB (6) (suma)	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q PCB (7) (suma)	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Cloronitrobenzenos						
Q o/p-Cloronitrobenzeno	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q m-Cloronitrobenzeno	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Monocloronitrobenzenos (suma)	µg/L	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40	<0.40
Q 2,3-Dicloronitrobenzeno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q 2,4-Dicloronitrobenzeno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q 2,5-Dicloronitrobenzeno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q 3,4-Dicloronitrobenzeno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q 3,5-Dicloronitrobenzeno	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Dicloronitrobenzenos (suma)	µg/L	<0.46	<0.46	<0.46	<0.46	<0.46
Otros CHC clorados						
Q 2-Clorotolueno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q 4-Clorotolueno	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Clorotoluenos (suma)	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Q 1-Cloronaftaleno	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Pesticidas Orgánicos clorados						
Q 4,4 -DDE	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 2,4 -DDE	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q 4,4 -DDT	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q 4,4 -DDD/2,4 -DDT	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q 2,4 -DDD	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q DDT/DDE/DDD (suma)	µg/L	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25	<0.25
Q Aldrín	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Dieldrina	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Endrín	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Suma Drinas	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: AS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	7/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q alfa-HCH	µg/L	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Q beta-HCH	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Q gama-HCH	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q delta-HCH	µg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Q Suma 4 compuestos HCH	µg/L	<0.29	<0.29	<0.29	<0.29	<0.29
Q α-Endosulfán	µg/L	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05
Q α-Endosulfansulfato	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q α-Clordán	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q γ-Clordán	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q Clordanos (suma)	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Heptacloro	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q Heptacloroepóxido	µg/L	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Q Hexaclorobutadieno	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Isodrin	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Telodrin	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Q Tedion	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Pesticidas fosforados						
Q Azinfos etil	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Azinfos metil	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Q Bromofos-etil	µg/L	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07	<0.07
Q Bromofos-metil	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Cloropirifos-etil	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Cloropirifos-metil	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Cumafos	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Demeton-S/demeton-O-etil	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Diazinón	µg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Q Diclorovos	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Disulfoton	µg/L	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04	<0.04
Q Fenitrotión	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Fentión	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Malatión	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el organismo de homologación holandés

A: AP04 operación acreditada

S: AS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	8/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterráneas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
Q Paration-etil	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Q Paration-metil	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Q Pirazofos	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Q Triazofos	µg/L	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2	<0.2
Pesticidas nitrogenados						
Q Ametrina	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Atrazina	µg/L	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Q Cianacina	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Q Desmetrin	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Prometrina	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Propazina	µg/L	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Q Simazina	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Terbutilazina	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Terbutrina	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Otros pesticidas						
Q Bifentrina	µg/L	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08	<0.08
Q Carbaril	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Cipermetrina A, B, C, D	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Deltametrina	µg/L	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20	<0.20
Q Linuron	µg/L	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10	<0.10
Q Permetrina A	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Permetrina B	µg/L	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06	<0.06
Q Permetrinas (suma)	µg/L	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12	<0.12
Q Propacloro	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Q Trifluralin	µg/L	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Varios compuestos orgánicos						
Q Bifenilo	µg/L	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
Q Nitrobenceno	µg/L	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3	<0.3
Q Dibenzofurano	µg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Hidrocarburos de petróleo						

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: AS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	9/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterráneas del Ebro		

Análisis	Unidad	1	2	3	4	5
TPH C10-C12	µg/L	<10	<10	<10	<10	<10
TPH C12-C16	µg/L	<15	<15	<15	<15	<15
TPH C16-C21	µg/L	<15	<15	<15	<15	<15
TPH C21-C30	µg/L	<20	<20	<20	<20	<20
TPH C30-C35	µg/L	<20	<20	<20	<20	<20
TPH C35-C40	µg/L	<20	<20	<20	<20	<20
Q TPH (suma C10-C40)	µg/L	<100	<100	<100	<100	<100

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
1	1706162	09-Feb-2017	9393900
2	1706163	09-Feb-2017	9393901
3	1706164	09-Feb-2017	9393902
4	1706165	09-Feb-2017	9393903
5	1706166	09-Feb-2017	9393904

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	10/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterraneeas del Ebro		

Análisis	Unidad	6
-----------------	---------------	----------

Pretratamiento de muestra

Análisis físico-químicos

	Factor de corr. EC-temp. (matemático)		1.116
Q	Conductividad eléctrica 25 °C	µS/cm	4900
Q	Conductividad eléctrica 25 °C	mS/m	490
Q	Conductividad eléctrica 20 °C	mS/m	440
	Temperatura de medición (EC)	°C	20.0
	Temperatura de medición (pH)	°C	20.1
Q	pH		7.3

Metales

Q	Arsénico (As)	µg/L	<3.0
Q	Antimonio (Sb)	µg/L	<5.0
Q	Bario (Ba)	µg/L	210
Q	Berilio (Be)	µg/L	<1.0
Q	Cadmio (Cd)	µg/L	<0.40
Q	Cromo (Cr)	µg/L	<2.0
Q	Cobalto (Co)	µg/L	<1.0
Q	Cobre (Cu)	µg/L	5.1
Q	Mercurio (Hg)	µg/L	<0.040
Q	Plomo (Pb)	µg/L	<3.0
Q	Molibdeno (Mo)	µg/L	<2.0
Q	Níquel (Ni)	µg/L	3.4
Q	Selenio (Se)	µg/L	<5.0
Q	Estaño (Sn)	µg/L	<5.0
Q	Vanadio (V)	µg/L	<2.0
Q	Zinc (Zn)	µg/L	25

Hidrocarburos Orgánicos Volátiles

Q	Benceno	µg/L	<0.10
Q	Etilbenceno	µg/L	<0.10
Q	Tolueno	µg/L	<0.10

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6	1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

A: AP04 operación acreditada

S: AS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	11/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q o-Xileno	µg/L	<0.10
Q m,p-Xileno	µg/L	<0.10
Q Xilenos (sum)	µg/L	<0.20
Q Estireno	µg/L	<0.10
Q 1,2,4-Trimetilbenceno	µg/L	<0.10
Q 1,3,5-Trimetilbenceno	µg/L	<0.10
Q n-Propilbenceno	µg/L	<0.10
Q Isopropilbenceno	µg/L	<0.10
Q n-Butilbenceno	µg/L	<0.10
Q sec-Butilbenceno	µg/L	<0.10
Q tert-Butibeceno	µg/L	<0.10
Q p-Cimeno	µg/L	<0.10
Fenoles		
Q Fenol	µg/L	<0.5
Q o-Cresol	µg/L	<0.30
Q m-Cresol	µg/L	<0.30
Q p-Cresol	µg/L	<0.20
Q Cresoles (suma)	µg/L	<0.80
Q 2,4-Dimetilfenol	µg/L	<0.02
Q 2,5-Dimetilfenol	µg/L	<0.02
Q 2,6-Dimetilfenol	µg/L	<0.03
Q 3,4-Dimetilfenol	µg/L	<0.02
Q o-Etilfenol	µg/L	<0.03
Q m-Etilfenol	µg/L	<0.02
Q Timol	µg/L	<0.01
Q 2,3/3,5-Dimetilfenol + 4-Etilfenol	µg/L	<0.02
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos		
Q Naftaleno	µg/L	<0.4
Q Acenaftileno	µg/L	<0.04
Q Acenafteno	µg/L	<0.1
Q Fluoreno	µg/L	<0.01

No. Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6 1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
 P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.
 Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	12/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q Fenantreno	µg/L	<0.02
Q Antraceno	µg/L	<0.01
Q Fluoranteno	µg/L	<0.02
Q Pireno	µg/L	<0.06
Q Benzo(a)antraceno	µg/L	<0.04
Q Criseno	µg/L	<0.02
Q Benzo(b+k)fluoranteno	µg/L	<0.06
Q Benzo(a)pireno	µg/L	<0.1
Q Dibenzo(ah)antraceno	µg/L	<0.08
Q Benzo(ghi)perileno	µg/L	<0.1
Q Indeno(123cd)pireno	µg/L	<0.06
Q HAP 16 EPA (suma)	µg/L	<1.1

Hidrocarburos halógenos Volátiles

Q Clorometano	µg/L	<0.20
Q Diclorometano	µg/L	<0.20
Q Cloruro de vinilo	µg/L	<0.20
Q 1,1-Dicloroetileno	µg/L	<0.10
Q trans 1,2-Dicloroetileno	µg/L	<0.10
Q cis1,2-Dicloroetileno	µg/L	<0.10
Q Cloroetano	µg/L	<0.10
Q Triclorofluorometano	µg/L	<0.10
Q Triclorometano	µg/L	<0.20
Q Tetraclorometano	µg/L	<0.10
Q 1,1-Dicloroetano	µg/L	<0.10
Q 1,2-Dicloroetano	µg/L	<0.10
Q 1,1,1-Tricloroetano	µg/L	<0.10
Q 1,1,2-Tricloroetano	µg/L	<0.10
Q Tricloroetano (suma)	µg/L	<0.20
Q 1,1,1,2-Tetracloroetano	µg/L	<0.10
Q 1,1,2,2-Tetracloroetano	µg/L	<0.10
Q Tetracloroetano (suma)	µg/L	<0.20

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6	1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés

R: AP04 operación acreditada

S: RS3000 operación acreditada

V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	13/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q Tricloroetileno	µg/L	<0.10
Q Tetracloroetileno	µg/L	0.14
Q 2,2-Dicloropropano	µg/L	<0.10
Q 1,2-Dicloropropano	µg/L	<0.10
Q 1,3-Dicloropropano	µg/L	<0.10
Q 1,2,3-Tricloropropano	µg/L	<0.10
Q 1,1-Dicloro-1-propeno	µg/L	<0.10
Q cis1,3-Dicloropropeno	µg/L	<0.10
Q trans 1,3-Dicloropropeno	µg/L	<0.10
Q 1,3-Dicloropropeno (suma)	µg/L	<0.20
Q Bromometano	µg/L	<0.10
Q Bromoclorometano	µg/L	<0.10
Q Dibromometano	µg/L	<0.10
Q 1,2-Dibromoetano	µg/L	<0.10
Q Tribromometano	µg/L	<0.10
Q Bromodichlorometano	µg/L	<0.10
Q Dibromoclorometano	µg/L	<0.10
Q 1,2-Dibromo-3-cloropropano	µg/L	<0.10
Q Bromobenceno	µg/L	<0.10
Clorobencenos		
Q Monoclorobenceno	µg/L	<0.050
Q 1,2,3-Triclorobenceno	µg/L	<0.10
Q 1,2,4-Triclorobenceno	µg/L	<0.10
Q 1,3,5-Triclorobenceno	µg/L	<0.010
Q Triclorobencenos (suma)	µg/L	<0.21
Q 1,2,3,4-Tetraclorobenceno	µg/L	<0.020
Q 1245&1235 Tetraclorobenceno	µg/L	<0.020
Q Tetraclorobencenos (suma)	µg/L	<0.040
Q Pentaclorobenceno (como POC/PC)	µg/L	<0.010
Q Hexaclorobenceno	µg/L	<0.030
Q 1,2-Diclorobenceno	µg/L	<0.10

No. Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6 1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
 P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.
 Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	14/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	6
Q 1,3-Diclorobenceno	µg/L	<0.10
Q 1,4-Diclorobenceno	µg/L	<0.10
Q Diclorobencenos (suma)	µg/L	<0.30
Clorofenoles		
Q o-Clorofenol	µg/L	<0.1
Q m-Clorofenol	µg/L	<0.02
Q p-Clorofenol	µg/L	<0.02
Q Monoclorofenoles (suma)	µg/L	<0.14
Q 2,3-Diclorofenol	µg/L	<0.02
Q 2,4/2,5-Diclorofenol	µg/L	<0.01
Q 2,6-Diclorofenol	µg/L	<0.03
Q 3,4-Diclorofenol	µg/L	<0.02
Q 3,5-Diclorofenol	µg/L	<0.03
Q Diclorofenoles (suma)	µg/L	<0.11
Q 2,3,4-Triclorofenol	µg/L	<0.02
Q 2,3,5-/2,4,5-Triclorofenol	µg/L	<0.02
Q 2,3,6-Triclorofenol	µg/L	<0.01
Q 2,4,6-Triclorofenol	µg/L	<0.05
Q 3,4,5-Triclorofenol	µg/L	<0.01
Q Triclorofenoles (suma)	µg/L	<0.11
Q 2,3,4,5-Tetraclorofenol	µg/L	<0.01
Q 2,3,4,6 / 2,3,5,6-Tetraclorofenol	µg/L	<0.020
Q Tetraclorofenoles (suma)	µg/L	<0.03
Q Pentaclorofenol	µg/L	<0.010
Q 4-Cloro-3-metilfenol	µg/L	<0.02
Bifenilos Policlorados		
Q PCB 28	µg/L	<0.01
Q PCB 52	µg/L	<0.01
Q PCB 101	µg/L	<0.01
Q PCB 118	µg/L	<0.01
Q PCB 138	µg/L	<0.01

No. Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6 1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

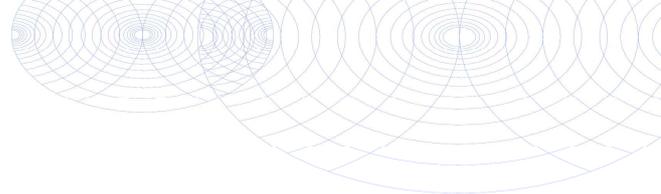
Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.
 Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).





Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	15/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q PCB 153	µg/L	<0.01
Q PCB 180	µg/L	<0.01
Q PCB (6) (suma)	µg/L	<0.06
Q PCB (7) (suma)	µg/L	<0.07
Cloronitrobencenos		
Q o/p-Cloronitrobenceno	µg/L	<0.20
Q m-Cloronitrobenceno	µg/L	<0.20
Q Monocloronitrobencenos (suma)	µg/L	<0.40
Q 2,3-Dicloronitrobenceno	µg/L	<0.1
Q 2,4-Dicloronitrobenceno	µg/L	<0.1
Q 2,5-Dicloronitrobenceno	µg/L	<0.1
Q 3,4-Dicloronitrobenceno	µg/L	<0.1
Q 3,5-Dicloronitrobenceno	µg/L	<0.06
Q Dicloronitrobencenos (suma)	µg/L	<0.46
Otros CHC clorados		
Q 2-Clorotolueno	µg/L	<0.1
Q 4-Clorotolueno	µg/L	<0.1
Q Clorotoluenos (suma)	µg/L	<0.2
Q 1-Cloronaftaleno	µg/L	<0.02
Pesticidas Orgánicos clorados		
Q 4,4 -DDE	µg/L	<0.01
Q 2,4 -DDE	µg/L	<0.01
Q 4,4 -DDT	µg/L	<0.20
Q 4,4 -DDD/2,4 -DDT	µg/L	<0.02
Q 2,4 -DDD	µg/L	<0.01
Q DDT/DDE/DDD (suma)	µg/L	<0.25
Q Aldrín	µg/L	<0.02
Q Dieldrina	µg/L	<0.02
Q Endrín	µg/L	<0.02
Q Suma Drinas	µg/L	<0.06

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6	1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	16/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q alfa-HCH	µg/L	<0.08
Q beta-HCH	µg/L	<0.07
Q gama-HCH	µg/L	<0.10
Q delta-HCH	µg/L	<0.04
Q Suma 4 compuestos HCH	µg/L	<0.29
Q α-Endosulfán	µg/L	<0.05
Q α-Endosulfansulfato	µg/L	<0.03
Q α-Clordán	µg/L	<0.01
Q γ-Clordán	µg/L	<0.01
Q Clordanos (suma)	µg/L	<0.02
Q Heptacloro	µg/L	<0.01
Q Heptacloroepóxido	µg/L	<0.03
Q Hexaclorobutadieno	µg/L	<0.10
Q Isodrin	µg/L	<0.10
Q Telodrin	µg/L	<0.07
Q Tedion	µg/L	<0.07
Pesticidas fosforados		
Q Azinfos etil	µg/L	<0.1
Q Azinfos metil	µg/L	<0.07
Q Bromofos-etil	µg/L	<0.07
Q Bromofos-metil	µg/L	<0.06
Q Cloropirifos-etil	µg/L	<0.06
Q Cloropirifos-metil	µg/L	<0.1
Q Cumafos	µg/L	<0.02
Q Demeton-S/demeton-O-etil	µg/L	<0.1
Q Diazinón	µg/L	<0.04
Q Diclorovos	µg/L	<0.1
Q Disulfoton	µg/L	<0.04
Q Fenitrotión	µg/L	<0.1
Q Fentión	µg/L	<0.1
Q Malatión	µg/L	<0.1

No. Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6 1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
 P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	17/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
Q Paration-etil	µg/L	<0.2
Q Paration-metil	µg/L	<0.2
Q Pirazofos	µg/L	<0.2
Q Triazofos	µg/L	<0.2
Pesticidas nitrogenados		
Q Ametrina	µg/L	<0.10
Q Atrazina	µg/L	<0.08
Q Cianacina	µg/L	<0.1
Q Desmetrin	µg/L	<0.10
Q Prometrina	µg/L	<0.10
Q Propazina	µg/L	<0.08
Q Simazina	µg/L	<0.20
Q Terbutilazina	µg/L	<0.06
Q Terbutrina	µg/L	<0.10
Otros pesticidas		
Q Bifentrina	µg/L	<0.08
Q Carbaril	µg/L	<0.10
Q Cipermetrina A, B, C, D	µg/L	<0.20
Q Deltametrina	µg/L	<0.20
Q Linuron	µg/L	<0.10
Q Permetrina A	µg/L	<0.06
Q Permetrina B	µg/L	<0.06
Q Permetrinas (suma)	µg/L	<0.12
Q Propacloro	µg/L	<0.02
Q Trifluralin	µg/L	<0.02
Varios compuestos orgánicos		
Q Bifenilo	µg/L	<0.01
Q Nitrobenceno	µg/L	<0.3
Q Dibenzofurano	µg/L	<0.1

Hidrocarburos de petróleo

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6	1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 A: AP04 operación acreditada
 S: AS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.
 Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).





Certificado de análisis

Número de proyecto	PROYECTO CHE	Número de certificado/versión	2017017041/1
Nombre de proyecto	PROYECTO CHE	Fecha de inicio	13-Feb-2017
Número de pedido	PCSB170210	Fecha de informe	21-Feb-2017/17:08
Tomamuestras	CEDEX	Anexo	A, B, C, D
	Aguas subterráneas	Página	18/18
Acuerdo de proyecto	2639 - PRJ. CNTA. Subterranas del Ebro		

Análisis	Unidad	δ
TPH C10-C12	µg/L	<10
TPH C12-C16	µg/L	<15
TPH C16-C21	µg/L	<15
TPH C21-C30	µg/L	<20
TPH C30-C35	µg/L	<20
TPH C35-C40	µg/L	<20
Q TPH (suma C10-C40)	µg/L	<100

No.	Descripción de muestra	Fecha de muestreo	Analytico-#
6	1706167	09-Feb-2017	9393905

Q: Operación acreditada por el Organismo de homologación holandés
 R: AP04 operación acreditada
 S: RS3000 operación acreditada
 V: VLAREL operación acreditada

Eurofins Analytico B.V.

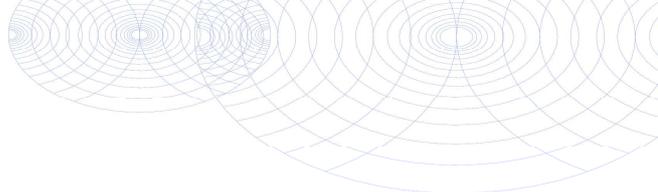
Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Este certificado solamente se puede reproducir en su totalidad.
 Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).





Anexo (A) con información de la submuestra sobre el certificado de análisis 2017017041/1

Analytico-#	# perforación	Descripción	De	A	Código de barras	Descripción de muestra
9393900	1706162				W00029276	1706162
9393901	1706163				W00029168	1706163
9393902	1706164				W00029165	1706164
9393903	1706165				W00029288	1706165
9393904	1706166				W00029289	1706166
9393905	1706167				W00029274	1706167



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL
 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).

**Anexo (B) con observaciones sobre el certificado de análisis 2017017041/1**

Página 1/1

Comentario 1)

Valor(es) indicativo(s) debido a una perturbación de la matriz.

Comentario 2)

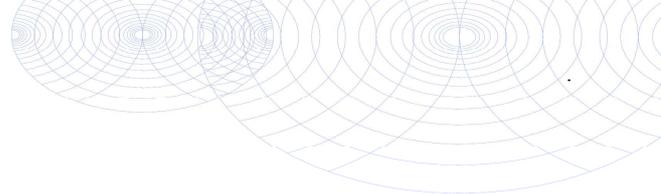
El valor de pH medido en la muestra supera el valor de CE >20000 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Según la norma NEN-EN-ISO 10523. el valor se encuentra fuera del rango de medición.

**Eurofins Analytico B.V.**

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

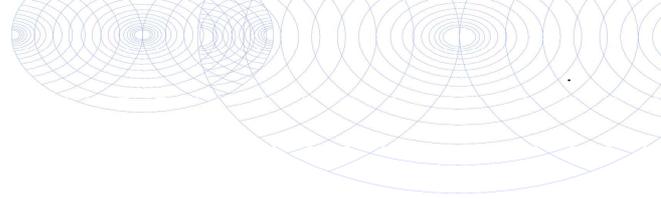
BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPNL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Anexo (C) con referencias de métodos sobre el certificado de análisis 2017017041/1

Análisis	Método	Técnica	Referencia de método
Fenoles	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Conductividad	W0506	Conductometría	Según NEN-ISO 7888
pH	W0524	Potenciometría	Según EN-ISO 10523
TerrAttesT metales	W0421	ICP-MS	Según NEN-EN-ISO 17294-2 / CMA2/I/B.5
Aromático: Benceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Aromático: Etilbenceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Aromático: Tolueno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
o-Xileno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
m, p-Xileno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Aromático: Xilenos HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Estireno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1, 2, 4-Trimetilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1, 3, 5-Trimetilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Propilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Isopropilbenceno (cumeno)	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
n-Butilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
sec-Butilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
tert-Butilbenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
p-Cimeno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HAP 16 según EPA	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Clorometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Diclorometano HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Cloruro de vinilo	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: 1, 1-Dicloroetileno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Trans 1, 2-Dicloroetileno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Cis 1, 2-Dicloroetileno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Cloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Triclorofluorometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Triclorometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Tetraclorometano HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: 1, 1-Dicloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: 1, 2-Dicloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: 1, 1, 1-Tricloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: 1, 1, 2-Tricloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Suma Tricloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1, 1, 1, 2-Tetracloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT



Anexo (C) con referencias de métodos sobre el certificado de análisis 2017017041/1

Análisis	Método	Técnica	Referencia de método
HCC: 1,1,2,2-Tetracloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Suma Tetracloroetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Tricloroetileno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
HCC: Tetracloroetileno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
2,2-Dicloropropano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,2-Dicloropropano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,3-dichloropropane	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,2,3-Tricloropropano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,1-Dicloro-1-propeno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
cis1,3-Dicloropropeno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
trans 1,3-Dicloropropeno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Suma 1,3-Dicloropropeno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Bromometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Bromoclorometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Dibromometano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,2-Dibromoetano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Analizar volátiles bromo comp.	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
1,2-Dibromo-3-cloropropano	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Bromobenceno	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Monoclorobenceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Clorobencenos	W6336	GC-MS	TerrAttesT
12-Diclorobenceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
13-Diclorobenceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
14-Diclorobenceno HS	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Suma diclorobencenos (nuevo)	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Clorofenoles	W6336	GC-MS	TerrAttesT
PCB 7	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Cloronitrobenenos	W6336	GC-MS	Método interno
Clorotoluenos	W0254	HS-GC/MS	TerrAttesT
Otros CHC clorados	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Cloropesticidas	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Pesticidas fosforados	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Pesticidas nitrogenados	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Otros pesticidas	W6336	GC-MS	TerrAttesT
Otros contaminantes orgánicos	W6336	GC-MS	TerrAttesT
TPH fraccionado	W0215	GC/FID	TerrAttesT



Anexo (C) con referencias de métodos sobre el certificado de análisis 2017017041/1

Análisis	Método	Técnica	Referencia de método
----------	--------	---------	----------------------

Más información sobre los métodos aplicados, así como sobre la clasificación de la precisión, se ha incluido en nuestro suplemento: "Especificación de métodos de análisis", versión junio de 2016.



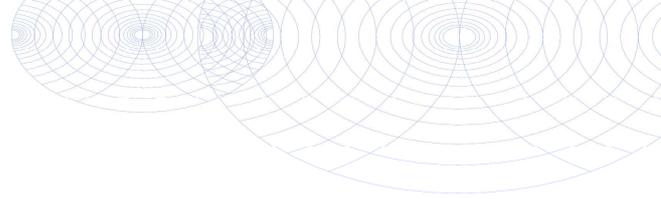
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Anexo (D) observaciones sobre la toma de muestras y los plazos de conservación. 2017017041/1

Página 1/1

Se han comprobado diferencias con respecto a las directivas que pueden influir la precisión de la información de las muestras indicadas a continuación.

Análisis

El plazo de conservación para el análisis respectivo ha caducado.

pH

Analytico-#

9393900
9393901
9393902
9393903
9393904
9393905

Conductividad eléctrica 25 °C

9393900
9393901
9393902
9393903
9393904
9393905



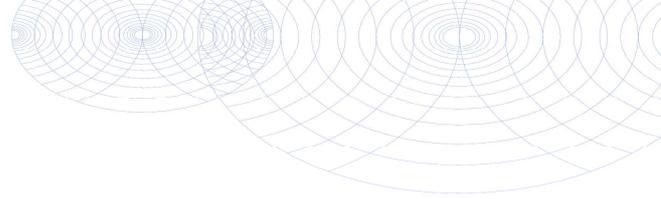
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
3771 NB Barneveld
P.O. Box 459
3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
Fax +31 (0)34 242 63 99
E-mail info-env@eurofins.nl
Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
IBAN: NL71BNPA0227924525
BIC: BNPANL2A
KvK/CoC No. 09088623
BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 1/7

Suplemento informativo :

A continuación se facilita el cálculo de la incertidumbre de la medición de cada determinación analítica individual. La incertidumbre expandida se da como el intervalo en el cuál se espera que se encuentre el valor obtenido con el método aplicado, con una seguridad del 95%. El valor de la incertidumbre expandida se expresa en porcentaje.

A nivel internacional no existe todavía consenso sobre cómo debe ser calculada la incertidumbre. Los valores aquí facilitados se han calculado siguiendo el cálculo más frecuentemente utilizado:

$$U_{rel} = 2 \cdot \sqrt{CVRw^2 + drel^2}$$

CVRw = coeficiente de variación de la reproducibilidad intralaboratorio.

drel = sesgo relativo

Urel = incertidumbre de medición expandida

NOTA 1: El efecto de la heterogeneidad de la muestra en la incertidumbre de la medición no puede ser cuantificada en términos generales. Por ello, la posible influencia debida a la inhomogeneidad de cada muestra no se incluye en los valores que figuran más abajo.

versión : 23 Dec 2015

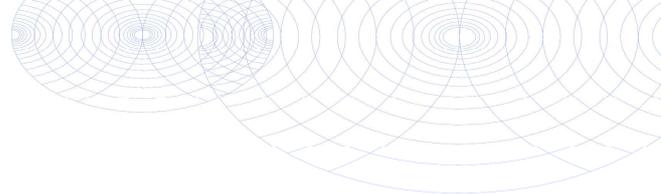
Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Análisis físico-químicos			
Conductividad eléctrica 25 °C	0.50	-2.5	5.1
pH	0.080	-0.10	0.31
Metales			
Arsénico (As)	2.6		5.2
Antimonio (Sb)	7.3		15
Bario (Ba)	1.7		3.4
Berilio (Be)	3.7		7.4
Cadmio (Cd)	2.3		4.6
Cromo (Cr)	2.5		5.0
Cobalto (Co)	2.5		5.0
Cobre (Cu)	2.2		4.4
Mercurio (Hg)	7.5		15
Plomo (Pb)	2.0		4.0
Molibdeno (Mo)	2.3		4.6
Níquel (Ni)	2.3		4.6
Selenio (Se)	4.9		9.8
Estaño (Sn)	3.3		6.6
Vanadio (V)	2.9		5.8
Zinc (Zn)	2.0		4.0

Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
 P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

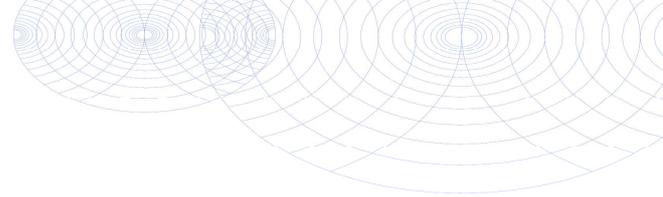
Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 2/7

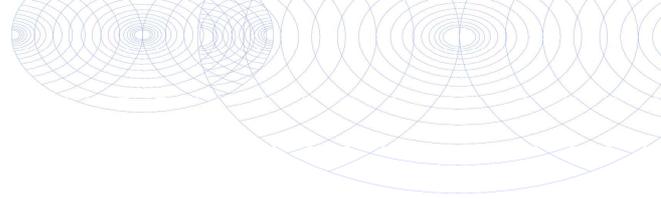
Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Hidrocarburos Orgánicos Volátiles			
Benceno	2.6	-8.2	17
Etilbenceno	3.1	-2.0	7.4
Tolueno	1.9	-15	30
o-Xileno	4.3	-1.0	8.8
m,p-Xileno	3.8	-6.0	14
Estireno	4.3	-8.0	18
1,2,4-Trimetilbenceno	5.8	-12	27
1,3,5-Trimetilbenceno	7.1	-13	30
n-Propilbenceno	3.7	-5.0	12
Isopropilbenceno	2.9	-3.0	8.3
n-Butilbenceno	4.4	-8.0	18
sec-Butilbenceno	4.3	-8.0	18
tert-Butilbenceno	4.9	-8.0	19
p-Cimeno	6.0	-11	25
Fenoles			
Fenol	7.6	-0.80	15
o-Cresol	12	6.3	27
m-Cresol	7.5	10	25
p-Cresol	5.7	11	25
2,4-Dimetilfenol	12	9.2	29
2,5-Dimetilfenol	11	-0.50	23
2,6-Dimetilfenol	19	3.5	38
3,4-Dimetilfenol	5.5	5.7	16
o-Etilfenol	11	2.5	22
m-Etilfenol	10	1.8	21
Timol	7.6	6.1	19
2,3/3,5-Dimetilfenol + 4-Etilfenol	8.2	6.3	21
Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos			
Naftaleno	11	0.0	22
Acenaftileno	6.0	3.8	14
Acenafteno	5.7	7.8	19
Fluoreno	3.8	12	25
Fenantreno	6.7	-2.6	14
Antraceno	9.2	-17	39
Fluoranteno	12	-0.20	24



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 3/7

Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Pireno	3.8	4.4	12
Benzo(a)antraceno	11	-4.0	24
Criseno	6.1	3.2	14
Benzo(b+k)fluoranteno	9.8	0.0	20
Benzo(a)pireno	11	0.0	22
Dibenzo(ah)antraceno	8.1	0.0	16
Benzo(ghi)perileno	7.5	0.0	15
Indeno(123cd)pireno	5.0	0.0	10
Hidrocarburos halógenos Volátiles			
Clorometano	8.0	1.0	16
Diclorometano	7.4	0.0	15
Cloruro de vinilo	6.5	0.0	13
1,1-Dicloroetileno	3.1	0.0	6.2
trans 1,2-Dicloroetileno	3.6	6.0	14
cis 1,2-Dicloroetileno	3.4	4.0	10
Cloroetano	5.6	0.0	11
Triclorofluorometano	5.6	3.0	13
Triclorometano	5.0	6.0	16
Tetraclorometano	5.5	6.0	16
1,1-Dicloroetano	3.6	4.0	11
1,2-Dicloroetano	5.8	1.0	12
1,1,1-Tricloroetano	4.6	3.0	11
1,1,2-Tricloroetano	4.1	1.0	8.4
1,1,1,2-Tetracloroetano	5.2	3.0	12
1,1,2,2-Tetracloroetano	12	14	36
Tricloroetileno	13	3.0	26
Tetracloroetileno	3.2	4.0	10
2,2-Dicloropropano	10	6.0	24
1,2-Dicloropropano	5.3	0.0	11
1,3-Dichloropropane	6.4	4.0	15
1,2,3-Tricloropropano	6.5	2.0	14
1,1-Dicloro-1-propeno	4.2	1.0	8.6
cis 1,3-Dicloropropeno	3.8	-1.0	7.9
trans 1,3-Dicloropropeno	3.2	0.0	6.4
Bromometano	12	0.0	23
Bromoclorometano	3.9	1.0	8.1
Dibromometano	4.9	2.0	11
1,2-Dibromoetano	5.4	0.0	11



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 4/7

Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Tribromometano	5.0	2.0	11
Bromodiclorometano	5.3	2.0	11
Dibromoclorometano	3.8	2.0	8.6
1,2-Dibromo-3-cloropropano	11	0.0	22
Bromobenceno	4.8	-2.0	10
Clorobencenos			
Monoclorobenceno	2.5	6.0	13
1,2,3-Triclorobenceno	3.9	0.0	7.8
1,2,4-Triclorobenceno	3.7	1.0	7.7
1,3,5-Triclorobenceno	9.1	-15	35
1,2,3,4-Tetraclorobenceno	8.9	-15	35
1245&1235 Tetraclorobenceno	5.7	-15	32
Pentaclorobenceno (como P0C/PC)	3.5	-15	31
Hexaclorobenceno	6.7	-14	31
1,2-Diclorobenceno	3.9	0.0	7.8
1,3-Diclorobenceno	4.1	-3.0	10
1,4-Diclorobenceno	4.5	-4.0	12
Clorofenoles			
o-Clorofenol	9.0	-1.6	18
m-Clorofenol	12	-8.1	29
p-Clorofenol	10	-18	41
2,3-Diclorofenol	9.8	-4.4	21
2,4/2,5-Diclorofenol	4.0	-4.4	12
2,6-Diclorofenol	9.4	6.3	23
3,4-Diclorofenol	9.2	-2.5	19
3,5-Diclorofenol	14	-3.7	29
2,3,4-Triclorofenol	9.6	-1.5	19
2,3,5-/2,4,5-Triclorofenol	6.5	-0.10	13
2,3,6-Triclorofenol	5.7	0.70	11
2,4,6-Triclorofenol	6.0	-3.4	14
3,4,5-Triclorofenol	6.7	-1.7	14
2,3,4,5-Tetraclorofenol	6.0	-4.4	15
2,3,4,6 / 2,3,5,6-Tetraclorofenol	6.0	-4.4	15
Pentaclorofenol	4.5	-28	57
4-Cloro-3-metilfenol	8.9	-4.4	20
Bifenilos Policlorados			

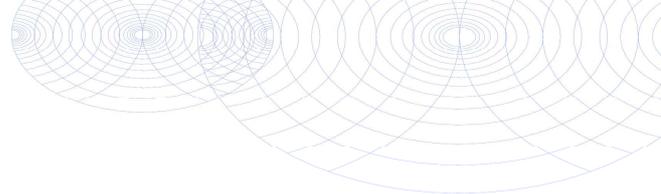
Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46
 3771 NB Barneveld
 P.O. Box 459
 3770 AL Barneveld NL

Tel. +31 (0)34 242 63 00
 Fax +31 (0)34 242 63 99
 E-mail info-env@eurofins.nl
 Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

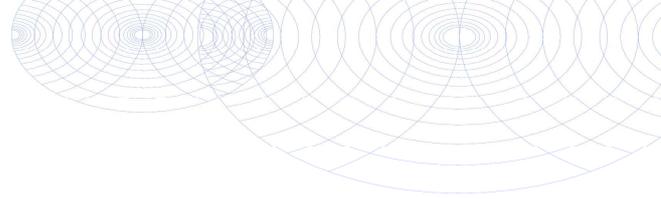
Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 5/7

Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
PCB 28	5.4	-13	28
PCB 52	3.5	-15	31
PCB 101	6.3	-23	48
PCB 118	7.0	-18	39
PCB 138	4.1	-32	65
PCB 153	5.1	-29	59
PCB 180	5.7	-37	75
Cloronitrobenzenos			
o/p-Cloronitrobenzeno	14	2.6	29
m-Cloronitrobenzeno	14	3.1	29
2,3-Dicloronitrobenzeno	7.1	0.50	14
2,4-Dicloronitrobenzeno	7.1	-0.60	14
2,5-Dicloronitrobenzeno	7.0	2.5	15
3,4-Dicloronitrobenzeno	7.1	-3.8	16
3,5-Dicloronitrobenzeno	8.6	3.4	18
Otros CHC clorados			
2-Clorotolueno	4.4	-6.0	15
4-Clorotolueno	5.0	-8.0	19
1-Cloronaftaleno	6.3	2.1	13
Pesticidas Orgánicos clorados			
4,4 -DDE	4.5	-16	33
2,4 -DDE	5.7	-11	25
4,4 -DDT	8.5	-15	34
4,4 -DDD/2,4 -DDT	4.1	-8.1	18
2,4 -DDD	5.1	-6.5	17
Aldrín	5.1	-8.3	19
Dieldrina	6.3	-2.1	13
Endrín	12	-6.7	27
alfa-HCH	5.1	2.5	11
beta-HCH	4.7	-11	24
gama-HCH	6.3	-1.2	13
delta-HCH	3.5	-4.4	11
α-Endosulfán	6.3	-3.1	14
α-Endosulfansulfato	6.7	-9.0	22
α-Clordán	5.1	-9.0	21
γ-Clordán	6.3	-9.0	22



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 6/7

Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Heptacloro	6.3	-25	52
Heptacloroepóxido	10	-5.3	23
Hexaclorobutadieno	12	5.1	26
Isodrin	6.3	-11	25
Telodrin	5.5	-26	53
Tedion	4.7	-9.0	20
Pesticidas fosforados			
Azinfos etil	7.9	-40	82
Azinfos metil	10	-32	67
Bromofos-etil	4.1	-14	29
Bromofos-metil	4.5	-14	29
Cloropirifos-etil	4.0	-13	27
Cloropirifos-metil	5.4	-14	30
Cumafos	6.5	-38	77
Demeton-S/demeton-0-etil	11	-14	36
Diazinón	3.0	5.0	12
Diclorovos	6.5	-7.8	20
Disulfoton	15	-87	180
Fenitrotión	11	-13	34
Fentiión	5.7	-11	25
Malatión	5.4	-7.8	19
Paration-etil	13	-24	55
Paration-metil	11	-6.0	25
Pirazofos	11	-21	48
Triazofos	8.5	-20	43
Pesticidas nitrogenados			
Ametrina	6.7	7.8	21
Atrazina	4.5	-17	35
Cianacina	6.3	-92	180
Desmetrin	6.4	-92	180
Prometrina	6.7	-34	69
Propazina	5.4	1.7	11
Simazina	12	16	40
Terbutilazina	3.2	0.50	6.5
Terbutrina	6.0	-23	48
Otros pesticidas			



Número de certificado/versión 2017017041/1
 Número de proyecto PROYECTO CHE
 Nombre de proyecto PROYECTO CHE
 Número de pedido PCSB170210

Página 7/7

Análisis	CVRw (%)	drel (%)	Urel (%)
Bifentrina	5.5	-7.8	19
Carbaril	7.1	-1.3	14
Cipermetrina A, B, C, D	8.9	5.2	21
Deltametrina	14	7.4	31
Linuron	11	3.2	23
Permetrina A	5.1	-4.8	14
Permetrina B	5.1	-4.8	14
Permetrinas (suma)	5.1	-4.2	13
Propaclaro	5.1	-1.9	11
Trifluralin	11	0.70	21
Varios compuestos orgánicos			
Bifenilo	6.7	8.0	21
Nitrobenceno	6.7	4.6	16
Dibenzofurano	7.3	4.4	17
Hidrocarburos de petróleo			
TPH (suma C10-C40)	4.3	-14	29



Eurofins Analytico B.V.

Gildeweg 42-46 Tel. +31 (0)34 242 63 00
 3771 NB Barneveld Fax +31 (0)34 242 63 99
 P.O. Box 459 E-mail info-env@eurofins.nl
 3770 AL Barneveld NL Site www.eurofins.nl

BNP Paribas S.A. 227 9245 25
 IBAN: NL71BNPA0227924525
 BIC: BNPANL2A
 KvK/CoC No. 09088623
 BTW/VAT No. NL 8043.14.883.B01

Eurofins Analytico B.V. está certificada por la norma ISO 14001 :2004 por TÜV y cualificada por la Región Flamenca (OVAM y Dep LNE), la Región de Bruselas (IBGE), la Región de Valonia (DGRNE-OWD) y por el Gobierno de Luxemburgo (MEV).



Anexo 4

Informes de ensayo de tritio por concentración electrolítica

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16262

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16262	Balsa Morea	21/09/2016	4,44	0,34	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 30/01/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 13/02/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 13/02/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16263

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16263	Manantial de Ibero	21/09/2016	2,13	0,26	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 17/10/2016

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/11/2016

FECHA DE VALIDACIÓN: 14/11/2016

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16264

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16264	Río Arga. Etxauri	21/09/2016	3,31	0,3	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 08/11/2016

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 25/11/2016

FECHA DE VALIDACIÓN: 16/12/2016

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16265

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16265	Manantial de Etxauri	21/09/2016	2,43	0,27	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 08/11/2016

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 25/11/2016

FECHA DE VALIDACIÓN: 16/12/2016

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16266

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16266	Manantial de Belascoáin	21/09/2016	1,08	0,22	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 08/11/2016

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 25/11/2016

FECHA DE VALIDACIÓN: 16/12/2016

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16267

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16267	Río Salado. Salinas de Salinas de Oro	22/09/2016	3,18	0,3	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 28/09/2016

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 30/01/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 13/02/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 13/02/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16396

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16396	Manantial de Ibero	08/02/2017	2,94	0,28	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 13/02/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16398

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16398	Manantial de Etxauri	08/02/2017	2,42	0,27	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 13/02/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16399

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16399	Manantial de Belascoáin	07/02/2017	1,1	0,22	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 13/02/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16400

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16400	Sondeo Ibero P2 045m	09/02/2017	2,75	0,28	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 13/02/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16507

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16507	Sondeo Ibero P2 105m	14/03/2017	2,43	0,27	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 22/03/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16508

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16508	Sondeo Ibero P2 120m	15/03/2017	2,56	0,35	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 22/03/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 03/04/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 03/05/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 11/05/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16548

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16548	Manantial de Ibero	27/06/2017	1,74	0,25	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 04/07/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 06/09/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 25/09/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 25/09/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16550

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16550	Manantial de Etxauri	26/06/2017	2,4	0,27	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 04/07/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 19/10/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 14/11/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 14/11/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16551

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16551	Manantial de Belascoáin	26/06/2017	1,04	0,22	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 04/07/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 19/10/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 14/11/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 14/11/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés

ENSAYO DE TRITIO POR CONCENTRACIÓN ELECTROLÍTICA

INFORME NÚMERO: TC 16553

**CLIENTE:**

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL EBRO

Paseo de Sagasta 24-26

50071 Zaragoza

ESPAÑA

NÚMERO DE MUESTRA	CÓDIGO DE LA MUESTRA	FECHA DE MUESTREO	RESULTADO (U.T.)		
			ACTIVIDAD	Incert. (k=2)	AMD
16553	Sondeo Ibero P2 117m	27/06/2017	2,07	0,26	0,42

MATRIZ Aguas Continentales

FECHA DE ENTRADA 04/07/2017

FECHA DE INICIO DEL ENSAYO: 19/10/2017

FECHA DE FIN DEL ENSAYO: 14/11/2017

FECHA DE VALIDACIÓN: 14/11/2017

OBSERVACIONES:

PROCEDIMIENTO DE ENSAYO: Procedimiento interno ITE-1006

Este informe de ensayo no se reproducirá, excepto en su totalidad, sin el consentimiento del CEDEX

Los resultados corresponden únicamente a la muestra analizada

AMD: Actividad Mínima Detectable del sistema de medida

La información de la toma de muestra ha sido aportada por el cliente

1 U.T. = 0,1181 Bq/l

Fecha de emisión: viernes, 15 de diciembre de 2017

El Director Técnico

Luis Pujol Terés