

**PROYECTO CICYT, HID 1999-0205**

**Salinización Asociada a la Precipitación y a las Aguas Subterráneas en distintas Áreas del Territorio Español Continental e Insular.**

Ejecutor: IGME en coordinación con DIT/UPC

*Investigador principal:* Emilio Custodio (IGME/UPC)  
*Investigadores asociados:* Loreto Fernández (IGME)  
 Luis Moreno Merino (IGME)  
 M<sup>a</sup>. del Pilar de la Fuente (IGME)  
 Itziar Vázquez (IGME)

*Becario:* Francisco J. Alcalá (IGME/UPC)

Informe interno nº

7

Título:

*Estudio del potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad en diversos acuíferos españoles de España y Portugal*

*Fecha:* Diciembre 2003

<i>Autores:</i>	Francisco J. Alcalá	IGME/UPC
	Con la colaboración de: Emilio Custodio	IGME/UPC
	Adquisición de datos: Loreto Fernández y Luis Moreno	IGME
	Análisis químicos: M <sup>a</sup> . del Pilar de la Fuente e Itziar Vázquez	IGME

*Resumen:*

Se presenta un estudio sobre la aplicabilidad de la relación  $R = rCl/rBr$  a la identificación del origen de la salinidad de las aguas subterráneas, según la experiencia adquirida en diversos acuíferos de España. En las aguas cuya salinidad guarda relación con la adición o presencia de agua marina el valor R es similar al marino ( $655 \pm 4$ ), con la incertidumbre que corresponde a los errores analíticos normales y al pequeño efecto del componente de agua dulce. El efecto urbano e industrial a través de la incorporación de aguas usadas o del lixiviado de residuos se suele traducir en un claro incremento de R, en torno o algo superior a 1000. Por otro lado el efecto agrícola del uso de plaguicidas en algunas de las áreas de agricultura intensiva consideradas se traduce en una disminución de R hasta ~ 300 a causa del aporte de Br. La simple evapoconcentración no parece afectar al valor de R. En áreas volcánicas el aumento de cloruro asociado a la adición de CO<sub>2</sub> endógeno tiende a elevar el valor de R hasta valores no superiores a 1000. El lavado y disolución de halita natural o de uso industrial eleva el valor de R hasta varios miles, siendo comunes valores de R entre 5000 y 6000. El lavado de haluros potásicos hace descender el valor de R entre 300 y 500. La disolución de yesos suele dar valores de R de varios miles, debido a la fracción de halita que incluyen. El agua de recarga no afectada en zonas costeras da valores de R similares al marino; en zonas de interior peninsular suele presentar valores de R inferiores al marino (entre 300 y 500); en zonas a cota elevada los valores de R son también inferiores al marino (entre 200 y 500); en zonas costeras urbanas se obtienen valores de R inferiores al marino. Hay situaciones en las que el valor de R no queda del todo explicado. En cualquier caso se requiere una alta precisión analítica para poder llegar a resultados aceptables.

## 1. INTRODUCCIÓN

Tanto los iones cloruro (Cl) como bromuro (Br) que se encuentran disueltos en el agua subterránea son trazadores muy próximos al comportamiento del trazador ideal (Custodio y Llamas, 1983, cap. 12.2), dado el carácter hidrófilo y el pequeño radio iónico. Eso quiere decir que los procesos físico-químicos que tienen lugar en el terreno, aunque pueden afectar a sus concentraciones absolutas (dilución, evaporación, mezclas), no modifican el valor de su relación. Por el contrario las sales disueltas guardan razonable memoria de la composición de la materia soluble que ha dado origen a la salinidad en cuanto al Cl y Br se refiere. Estos procesos son bien conocidos, así como la mayoría de los posibles procesos que pueden afectar a los iones Cl y Br, y a su relación (véase Davis *et al.*, 1998; Custodio y Herrera, 2000; Whittemore, 1988). Sin embargo hay limitaciones y comportamientos no bien estudiados o que requieren datos adicionales. No toda la salinidad de las aguas subterráneas tiene un origen asociado al aerosol marino, existiendo en ocasiones aportes salinos de tipo litológico, antrópico, etc. que contribuyen a la salinidad total de las aguas del acuífero.

Por esta razón este estudio forma parte de la investigación del Proyecto CICYT HID1999-0205 sobre "Análisis de recarga a los acuíferos españoles a través del balance hidrogeoquímico y aplicación de componentes menores e isotópicos ambientales para caracterizarlo", del que se pretende observar el grado de aplicación de la relación Cl/Br como trazador hidrogeológico eficaz para discriminar el origen de la salinidad en diversos acuíferos del territorio español (Fig. 1).

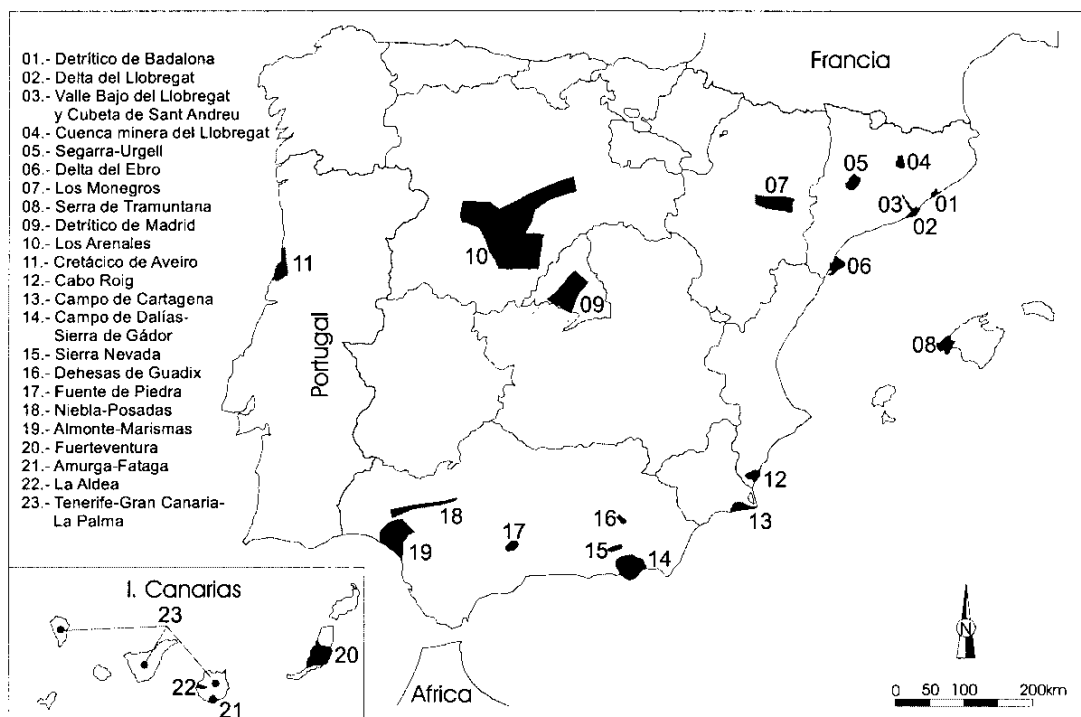


Figura 1. Localización geográfica de los acuíferos estudiados

Se han elegido un conjunto de acuíferos en el territorio español para muestreo de agua subterránea en los que el origen de la salinidad se supone bien conocido, para la determinación precisa del contenido en Cl y Br. En ningún caso se trata de estudiar los acuíferos, sino al contrario, en situaciones conocidas, ver la información que puede aportar el valor de Cl/Br de cada muestra. A los datos así obtenidos se han adicionado otros datos procedentes de estudios realizados en años anteriores. Paralelamente se ha establecido una red de muestreo de la precipitación atmosférica que incluye la deposición húmeda y seca, con similar fin (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205). Aquí se incluyen los resultados obtenidos de muestras tomadas en áreas seleccionadas de los acuíferos que se muestran en la Figura 1.

## 2. MÉTODOS ANALÍTICOS

La relación cloruro/bromuro (dado de esa manera para obtener valores mayores que la unidad, lo que facilita su manejo) se expresa como  $R = rCl/rBr = 2,25 pCl/pBr$ , en la que  $r$  = concentración molar o equivalente (por ejemplo en  $meq \cdot L^{-1}$ ) y  $p$  = concentración ponderal (por ejemplo en  $mg \cdot L^{-1}$ ). Otros autores la expresan como  $pCl/pBr$  o como su valor inverso.

El análisis preciso del ión cloruro no presenta dificultades especiales salvo a muy bajas concentraciones ( $< 1 mg \cdot L^{-1}$ ), lo que no es común en aguas subterráneas, pero sí lo presenta el del ión bromuro dado que con frecuencia se tiene  $< 1 mg \cdot L^{-1}$ , y muchas veces menos de  $10 \mu g \cdot L^{-1}$  (informe nº 1 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

Existen diversos métodos de análisis del Br. De entre ellos hay que descartar normalmente el del electrodo selectivo de ión, por interferencias variables, y con frecuencia también los espectrométricos al nivel de precisión que aquí se requiere. Tienen suficiente precisión para más de  $0,1 mg \cdot L^{-1}$  el método colorimétrico con tiempo de reacción controlado (aquí sólo realizado por el laboratorio ATIL) y la cromatografía iónica de alto rendimiento (paso lento, HPLC), que permite separar muy eficazmente los picos del Cl y del Br, y medir el Br con precisión a concentraciones de menos de  $5 \mu g \cdot L^{-1}$ . Una ventaja adicional del método HPLC es que se mide el Cl y el Br en la misma muestra, con lo cual los errores introducidos por posible necesidad de dilución de la muestra original no forman parte del valor de R. Es el método usado por los laboratorios IGME y AGBAR.

En los trabajos realizados dentro del proyecto antes aludido, para el método HPLC se obtienen coeficientes de variación (CV = desviación estándar dividida por el valor medio) para el cloruro  $< 0,03$  para  $Cl > 0,5 mg \cdot L^{-1}$ , y para el bromuro  $< 0,05$  para  $Br > 2 \mu g \cdot L^{-1}$ , con lo que el coeficiente de variación de R es  $< 0,06$  para valores de R similares al marino (informe nº 1 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

## 3. BASES INTERPRETATIVAS

De acuerdo con Davis *et al.* (1998), Custodio y Herrera (2000) y Whittemore (1988), y las numerosas referencias contenidas en esos trabajos, se tienen los siguientes valores de R, a título de información o guía:

- a) Agua marina no contaminada:  $655 \pm 4$
- b) Agua de lluvia continental: variable entre 50 y 650, pudiendo ser  $< 50$  en áreas en que el aire atmosférico está muy afectado por quemado de gasolinas de automoción.

- c) Agua de lluvia costera: valor similar al marino, o menor, aunque en zonas cálidas con mar agitado es posible que  $R > 650$ , o incluso  $R > 1000$ .
- d) Los gases de quemado de gasolinas de automoción y los nematocidas tipo bromuro de metilo hacen disminuir el valor de R respecto del valor marino.
- e) La disolución de halita (incluido el uso doméstico) eleva el valor de R hasta varios miles, pero la disolución de haluros potásicos procedentes de salmueras muy concentradas (carnalita, silvita) puede hacer disminuir el valor de R respecto al marino.
- f) Los gases volcánicos aportan haluros generalmente con  $R > 650$ , quizás hasta 900, aunque existe una gran variabilidad.

Los estudios realizados del agua de lluvia no se han incluido en este trabajo ya que ha sido objeto del informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205.

Sea una mezcla de: X = fracción ponderal de agua no marina, con  $C_N$ ,  $B_N$  y  $R_N$ , y  $1-X$  = fracción ponderal de agua marina, con  $C_M$ ,  $B_M$  y  $R_M$ , siendo C, B y R respectivamente las concentraciones de cloruros, bromuros y  $R = C/B$  (en las mismas unidades, o ponderales o molares) para el agua no marina (N), marina (M) y también para la mezcla (m). La conservación de la masa exige que:

$$C_m = C_N X + C_M (1 - X) \quad (1)$$

$$B_m = B_N X + B_M (1 - X) \quad (2)$$

$$R_m = \frac{C_m}{B_m} = \frac{C_N X + C_M (1 - X)}{B_N X + B_M (1 - X)} \quad (3)$$

Escribiendo  $\frac{1}{R_m} = \frac{B_N X + B_M (1 - X)}{C_m}$  y despejando X de (1) se obtiene finalmente

$$\frac{1}{R_m} = \frac{1}{C_M - C_N} \left( (B_M - B_N) + (B_N C_M - B_M C_N) \frac{1}{C_m} \right) \quad (4)$$

de modo que en un gráfico  $1/R$  en función de  $1/C$ , las mezclas entre las aguas M y N se representan según una recta que une los puntos representativos de las aguas M y N. En un gráfico R en función de C esa recta se transforma en una curva que no cambia el signo de su pendiente. Se han representado los valores de  $1/R$  y  $1/C$  de cada muestra en gráficos incluidos en la descripción de resultados de cada acuífero.

#### 4. RESULTADOS OBTENIDOS

Se ha estudiado la relación Cl/Br en múltiples muestras tomadas en 22 acuíferos españoles y en el acuífero cretácico de Aveiro en Portugal (Fig. 1), de las que se conocía de antemano sus principales características hidroquímicas y origen de la salinidad. Se describen las principales características hidrogeológicas y se discuten brevemente los valores de Cl y R obtenidos, presentados por acuíferos para facilitar la discusión. A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada acuífero en fichas individuales para facilitar su discusión. Se indica que la descripción del acuífero de La Aldea ya fue incluida en el informe nº 4 del proyecto CICYT, HID 1999-0205.

Para una lectura ordenada del informe se adjunta un índice de contenidos indicando la página donde se localiza cada ficha realizada sobre el valor hidrogeológico de la relación rCl/rBr, objeto de este informe.

## TABLA DE CONTENIDO

ACUÍFERO DETRÍTICO DE BADALONA (Barcelona) .....	6
ACUÍFEROS DEL DELTA DEL LLOBREGAT (Barcelona).....	10
ACUÍFERO DEL VALLE BAJO DEL LLOBREGAT (Barcelona).....	16
1. RÍO LLOBREGAT .....	22
2. ACUÍFERO DEL VALLE BAJO DEL LLOBREGAT .....	29
3. PIEZÓMETRO P-1 (VALLE BAJO).....	32
4. CUBETA DE SANT ANDREU DE LA BARCA .....	34
CUENCA MINERA POTÁSICA CATALANA (Barcelona) .....	39
ACUÍFEROS DE LA SEGARRA Y L'URGELL (Lleida).....	46
LOS MONEGROS (Zaragoza y Huesca) .....	53
ACUÍFERO DETRÍTICO TERCIARIO DE MADRID (Madrid) .....	62
ACUÍFERO DE LOS ARENALES (Valladolid, Salamanca, Segovia, Ávila).....	68
ACUÍFERO CRETÁCICO DE AVEIRO (Portugal) .....	73
VARIOS ACUÍFEROS DE ALICANTE .....	82
CAMPO DE DALÍAS Y SIERRA DE GÁDOR (Almería).....	85
ACUÍFEROS ALUVIALES DE DEHESAS DE GUADIX (Granada) .....	90
LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA (Málaga).....	93
ACUÍFERO DE ALMONTE-MARISMAS (Huelva) .....	99
FUERTEVENTURA (MACIZO DE BETANCURIA Y LLANOS CENTRALES) .....	105
MACIZO FONOLÍTICO DE AMURGA (Gran Canaria).....	112
BARRANCO DE LA ALDEA (Gran Canaria).....	115
POZOS, MANANTIALES Y GALERÍAS EN LAS ISLAS DE LA PALMA, GRAN CANARIA Y TENERIFE.....	121
MUESTRAS INDIVIDUALES DE DIFERENTES ACUÍFEROS .....	126
Sierra Nevada: Puerto de la Ragua (Almería) y Capileira (Granada): .....	129
Acuífero Niebla-Posadas (Sevilla) .....	130
Agua de lluvia en Sotos (Cuenca).....	130
Delta del Ebro (Tarragona) .....	130
Serra de Tramontana (Mallorca).....	130
POLO INDUSTRIAL DE HUELVA (Huelva).....	132

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFERO DETRÍTICO DE BADALONA (Barcelona)**

Fecha de muestreo: mayo 2001

Muestreador: Andrés Alcolea y Esteban Sanz

Descripción: Enric Vázquez

Interpretación: Enric Vázquez, Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: febrero 2003

Organismos 1: CIHS

2: UPC

Objetivos:

- Determinar los valores de la relación  $rCl/rBr$  para muestras localizadas en un área urbanizada y afectadas por la presencia de aguas residuales urbanas, actividad industrial e intrusión marina.

Características del muestreo: A partir de bombeo en pozos.

Características del acuífero: En la localidad costera de Badalona se distinguen tres dominios geológico-geográficos (Casamitjana *et al.*, 2001):

- a) Relieves montañosos formados por rocas graníticas y metamórficas paleozoicas.
- b) Materiales detríticos terciarios (cota 50-100 m) paralelos a la costa.
- c) Plana litoral, desde el dominio anterior al mar y con una pendiente suave, formada por materiales detríticos cuaternarios.
- d) Valles de las rieras; a cotas bajas aparecen materiales de piedemonte que pueden llegar a tener gran extensión superficial y cubrir otras formaciones (Acebillo y Folch, 2000).

La piezometría de la zona reproduce la topografía y el trazado de algunos cursos superficiales de agua, que en la mayoría de los casos se trata de pequeñas rieras efímeras que constituyen las vías de descarga de agua subterránea en épocas de lluvias.

Las aguas inicialmente son bicarbonatadas-cálcicas y a medida que fluyen hacia el mar se vuelven bicarbonatadas-cloruradas cálcicas-sódicas (González, 1997). El paso del agua por los materiales graníticos provoca la pérdida de calcio y el aumento de sodio, por intercambio iónico, hasta su descarga al mar. Cerca de la costa las aguas son cloruradas sódicas y presentan una alta conductividad eléctrica debida a intrusión marina. En el núcleo urbano existe contaminación urbana, como indica la presencia de altos contenidos en  $NO_3$  y  $PO_4$  (Casamitjana *et al.*, 2001).

Comprobaciones buscadas: Caracterizar el valor de la relación  $rCl/rBr$  en muestras del aluvial, otras asociadas a intrusión marina y presencia de aguas

residuales, y una muestra tomada en la factoría CLH con una muy alta clorinidad. Sus orígenes de salinidad son conocidos.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Todas las muestras se han obtenido en pozos durante bombeo

Muestra	Prov.	Ident. Lab.	Topónimo	F. Muestreo	Lab	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr	Clave
421-2-4	B	01/463-20	PI-3	18-may-01	IGME	5,619	1716	687	IM
421-2-4	B	01/463-25	PI-7	18-may-01	IGME	4,118	1253	685	IM
421-2-3	B	01/463-21	PFP-4	20-may-01	IGME	0,307	153	1123	CA
421-2-3	B	01/463-22	PFP-53-bis	18-may-01	IGME	0,172	87	1139	CA
421-2-3	B	01/463-27	PFP-3	21-may-01	IGME	0,201	90	1008	CA
421-2-3	B	01/463-28	PFP-12	21-may-01	IGME	0,207	87	949	CA
421-3-2	B	01/463-29	PFP-57	18-may-01	IGME	0,166	94	1278	CA
421-2-3	B	01/463-30	PFP-2	21-may-01	IGME	0,223	102	1029	CA
421-2-3	B	01/463-23	PFP-10	21-may-01	IGME	0,332	104	708	CA
421-2-3	B	01/463-24	PI-1	23-abr-01	IGME	0,251	74	667	RR
421-2-3	B	01/463-26	PFP-5	21-may-01	IGME	0,416	119	644	RR
421-3-4	B	01/463-31	CIH	22-may-01	IGME	5,927	17847	6775	CLH

IM Muestras afectadas por intrusión marina en el aluvial cuaternario  
 RR Agua de recarga tomada en rieras  
 CA Muestras contaminadas por aguas residuales (núcleo urbano)  
 CLH Factoría CLH

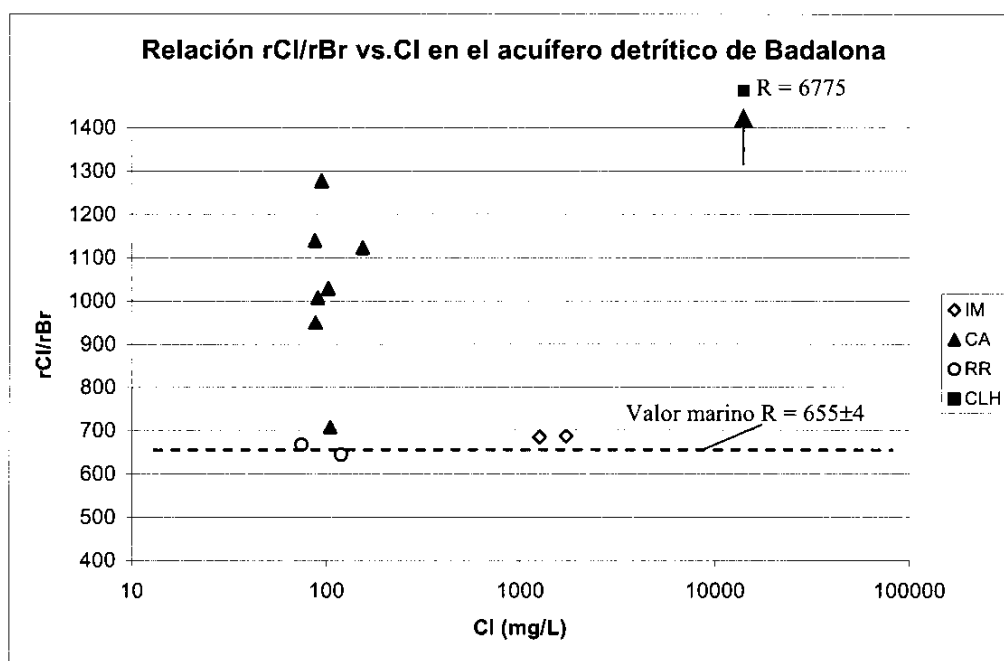


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl (mg/L)

Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, inventario de puntos de muestreo y características geográficas e hidrogeológicas de la zona.

Resultados:

Con la colaboración del CIHS y del DIT de la UPC se han estudiado 12

muestras (Tabla 1) tomadas según el origen de salinidad asignado por Casamitjana *et al.* (2001). Los resultados han sido:

- a) Muestras afectadas por intrusión marina (IM): R apenas difiere del valor típico marino, aunque está ligeramente por encima (posible efecto urbano, ver muestras c). Presentan una clorinidad entre 1000 y 2000 mg/L y  $R = 686 \pm 1$  (Fig. 1).
- b) Muestras de aguas freáticas próximas a dos rieras que recogen principalmente escorrentía pluvial (RR), aunque puede haber una pequeña contribución de retornos de riego y aguas urbanas: para  $Cl = 75-120 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $R = 655 \pm 10$ , en el entorno del valor marino típico (Fig. 1).
- c) Muestras afectadas por aguas residuales urbanas (CA), tomadas en el núcleo de la población, caracterizadas por altos contenidos de  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$ ; para  $Cl = 85-150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ,  $R = 1090 \pm 100$ . El uso del agua eleva R y se puede explicar por el aporte de halita doméstica (Fig. 1).
- d) Muestra CLH, de un antiguo pozo de gran diámetro abandonado en el terreno de una antigua factoría de ClH a partir de halita;  $R = 6775$  atribuible a la disolución de halita residual en el terreno. En esta zona se almacenó en el pasado ClNa puro para su uso industrial en procesos de ablandamiento del agua (Fig. 1).

---

#### Discusión:

Las aguas subterráneas del entorno urbano de Badalona están en mayor o menor medida afectadas por la presencia de aguas residuales (Casamitjana *et al.*, 2001).

Las aguas principalmente afectadas por pérdidas de la red de saneamiento se localizan en el centro urbano donde existe una alta densidad de colectores.

Las aguas afectadas por intrusión marina se localizan en zonas industriales algo afectadas por retornos desde la red de saneamiento. En este caso, el valor de  $R = 686 \pm 1$  obtenido para dos muestras próximas, indica que el agua dulce debe presentar afección por aguas residuales urbanas.

El agua de recarga que circula por los aluviales también presenta leves signos de contaminación por aguas residuales, siendo  $R = 655 \pm 10$ , inferior al valor típico marino. Se indica que el agua de lluvia tomada en Barcelona (E.T.S.I.C.C.P.B.), de similares características aparentes a la que se debe producir en Badalona, presenta un valor promedio de  $R = 480 \pm 70$  (informe nº 5 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

La muestra hipersalina tomada en la factoría CLH y localizada en el aluvial detrítico muestra un contenido en Cl superior a 17000 mg/L y un  $R = 6775$ . En esta muestra no se determinó  $\text{NO}_3$  y  $\text{PO}_4$ . El valor alto de R, muy superior al marino, se asocia al aporte de halita muy pura, almacenada en la factoría en el pasado. Su lixiviado al medio subterráneo parece ser la causa más probable de los altos contenidos de Cl y de R encontrados.

---

#### Conclusiones:

En general las muestras del entorno de Badalona presentan diferente grado de afección por aguas residuales. Las muestras afectadas por intrusión marina presentan signos leves de contaminación por aguas residuales, y tienen valores de R levemente superiores al típico marino. Las muestras tomadas en



el centro urbano, claramente afectadas por aguas residuales, tienen valores de R entre 1000 y 1300. El agua que circula por los aluviales de las rieras de la zona es mayormente debida al agua infiltrada por la lluvia, tiene un R típico marino. Una muestra afectada por lixiviado de halita pura de uso industrial presenta un valor de R de varios miles.

---

Acciones:

No es necesario seguir muestreando en esta zona, ya que su comportamiento general y procesos de distribución de salinidades son conocidos.

---

Referencias específicas:

- Acebillo, J. I Folch, R. (2000). *Atles Ambiental de l'Àrea de Barcelona. Balanç de recursos i problemes*. Edic. Ariel Ciencia, Barcelona.
- Casamitjana, A., Vázquez-Suñé, E., Alcolea, A., Sanz, E., Sánchez-Vila, X, Montes, J. y Melción, C. (2001). *Estudi hidrogeològic del municipi de Badalona*. UPC - Ajuntament de Badalona, 1-114.
- González, D. (1997). *Estudio Hidrogeológico del acuífero costero y fuentes de montaña de Badalona*. Publicación interna del Ayuntamiento de Badalona. 131 pp. Badalona.
- HID 1999-0205 (2003). *Caracterización de la deposición total atmosférica de elementos mayoritarios en la ciudad de Barcelona*. Informe nº 5. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 16 pp.

## **ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br**

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFEROS DEL DELTA DEL LLOBREGAT (Barcelona)**

1. Piezómetros de l'Agència Catalana de l'Aigüa (ACA) en el acuífero superior y profundo holocenos
2. Pozo 007 de Aigües del Prat (APSA)
3. Pozos particulares
4. Pozos de AGBAR en Gáva
5. Pozos de AGBAR en Castelldefells

Fecha de muestreo:

- Piezómetros de la ACA (marzo-mayo 2002)
- Pozo 007 de APSA (marzo 2002)
- Pozos particulares (mayo 2002)
- Pozos AGBAR en Gavà (marzo 2002)
- Pozos AGBAR en Castelldefells (enero 2002)

Muestreador:

Piezómetros de la ACA: Francisco Javier Alcalá, Virginia Robles, Albert Tauler, Juan Arribas

Pozo 007 de APSA: Francisco Javier Alcalá, Virginia Robles

Pozos particulares: técnicos de APSA

Pozos AGBAR en Gavà: técnicos de AGBAR

Pozos AGBAR en Castelldefells: técnicos de AGBAR

Descripción: Francisco Javier Alcalá

Comentarios: Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: junio de 2003

Organismos 1: AGBAR

2: APSA

3: CIHS

Objetivos:

- Caracterizar los valores de la relación  $rCl/rBr$  de muestras de agua del acuífero profundo, superficial y del margen derecho del delta del Llobregat, y una muestra tomada en una cuenca lateral (Riera de Sant Climent), de las que se conocen sus principales características de salinidad.

Características del muestreo: variado (ver Tabla 1). Se han distinguido los resultados analíticos en función del laboratorio en función al laboratorio que los ha realizado (Tabla 1).

Características del acuífero: El Delta del Llobregat está constituido por una serie de materiales fluviodeltaicos cuaternarios sobre materiales pliocenos (Marqués, 1984). Dentro del Holoceno existen dos Unidades Hidrogeológicas principales: el acuífero superior y el acuífero profundo, separadas por una cuña de material limoso (Llamas y Molist, 1967; Custodio, 1981). Estos acuíferos se encuentran conectados en los bordes donde no existen materiales limosos y el acuífero es único (Llamas y Molist, 1967; Custodio, 1981).

La principal recarga al sistema proviene del Valle Bajo, márgenes laterales, retornos de riego y pérdidas en las redes de abastecimiento y saneamiento locales. Las descargas se deben principalmente a bombeos (Iribar, 1992). Existen aguas poco salinas antiguas (Iribar, 1992).

La salinidad que afecta a estos acuíferos es variada. Destaca la intrusión marina (ver Custodio, 1981; Custodio, 1987); aporte salino múltiple no marino procedente de la recarga desde el Valle Bajo (Custodio *et al.*, 1983). Otros tipos de salinidad se deben a vertidos industriales, residuos urbanos, lixiviados de escombros enterrados, etc. (ver Candela, 1980; Subirana, 1983).

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de la relación rCl/rBr en muestras cuyos procesos hidroquímicos generales y génesis de la salinidad son conocidos.

Tabla 1.- Resultados obtenidos

Clave Muestra	T. Munic. / Paraje	Topónimo	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Laboratorio	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/rBr	Acuífero	Proceso
B-6-b	El Prat de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	3,2	1020	717	Prof	IM
B-6-c	El Prat de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	15,2	5100	756	Prof	IM
B-6-d	Sant Boi de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	2,0	690	776	Prof	IM
C-6-1-b	Castelldefels	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	7,0	2400	771	Prof	IM
A-3-b	Gavà	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	11,8	4300	817	Prof	IM
B-3-b	Gavà	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	2,7	1000	849	Prof	IM
B-3-c	Gavà	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-abr-02	AGBAR	38,9	13000	752	Prof	IM
Gc-1-b	El Prat de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	12-mar-02	AGBAR	19,0	5800	687	Prof	IM
Gc-1-c	El Prat de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	12-mar-02	AGBAR	6,7	2400	621	Prof	IM
Gc-1-d	El Prat de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	12-mar-02	AGBAR	7,6	2600	770	Prof	IM
B-4-b	Gavà	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-may-02	AGBAR	2,8	1050	844	Prof	IM
D-3-a	Sant Boi de Llob.	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-may-02	AGBAR	2,3	830	812	Sup	MD
C-1-a	Castelldefels	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-may-02	AGBAR	1,5	490	735	Sup	MD
C-3-a	Viadecans	Piezómetro ACA	SP	TMS	23-may-02	AGBAR	2,1	670	718	Sup	MD
A-4-a	Gavà	Piezómetro ACA	SP	TMS	28-feb-02	AGBAR	20,8	17244	1864	Sup	IM+AR
Ballona Alegre	Gavà	Camping B. Alegm	SP	TMS	23-may-02	AGBAR	1,3	560	1008	Sup	AR
C-5	Castelldefels	P.Castelldefels-5	PB	TMS	23-ene-02	AGBAR	0,8	372	1116	M. Der	AR
C-6	Castelldefels	P.Castelldefels-6	PB	TMS	23-ene-02	AGBAR	0,8	378	1134	M. Der	AR
C-7	Castelldefels	P.Castelldefels-7	PB	TMS	23-ene-02	AGBAR	0,6	390	1371	M. Der	AR
G-2	Gavà	P.Gavà-2	PB	TMS	03-abr-02	AGBAR	0,7	255	856	M. Der	MD
G-3	Gavà	P.Gavà-3	PB	TMS	03-abr-02	AGBAR	0,9	345	903	M. Der	MD
G-4	Gavà	P.Gavà-4	PB	TMS	03-abr-02	AGBAR	1,0	277	643	M. Der	MD
<b>MUESTRAS ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DE APSA EN EL PRAT DE LLOBREGAT</b>											
C-0-c	Castelldefels	Piezómetro ACA	SP	TMS	29-abr-02	APSA	0,9	673	1701	Prof	AR
C-0-d	Castelldefels	Piezómetro ACA	SP	TMS	29-abr-02	APSA	0,8	634	1719	Prof	AR
C.A.	Castelldefels	Can Americh	SP	TMS	14-mar-02	APSA	1,2	287	551	M. Der	MD
BR-Q1-P7-1	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,0	665	1453	Prof	VB+IM
BR-Q1-P7-2	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,1	660	1401	Prof	VB+IM
BR-Q2-P7-1	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,1	658	1359	Prof	VB+IM
BR-Q2-P7-2	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,0	658	1452	Prof	VB+IM
BR-Q3-P7-1	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,1	655	1377	Prof	VB+IM
BR-Q3-P7-2	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,1	655	1403	Prof	VB+IM
BR-Q4-P7-1	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,1	655	1376	Prof	VB+IM
BR-Q4-P7-2	El Prat de Llob.	Pozo 007	PB	MBP	26-mar-02	APSA	1,0	653	1455	Prof	VB+IM
M87	Sant Boi de Llob.	Cal Gaietano	PB	MBP	01-may-02	APSA	1,8	754	942	Prof	IM
M07	El Prat de Llob.	Can Parellada	PB	MBP	01-may-02	APSA	1,4	868	1447	Prof	IM
M90	Sant Boi de Llob.	Cal Tombrarella	PB	MBP	01-may-02	APSA	1,9	777	906	Prof	IM
M36	El Prat de Llob.	Cal Rovira (Cal Pelut Vell)	PB	MBP	01-may-02	APSA	2,1	469	512	Prof	MD
F04	El Prat de Llob.	Jover	PB	MBP	01-may-02	APSA	2,4	408	381	Prof	MD
M56	El Prat de Llob.	Cal Costabella ( Cal Roc )	PB	MBP	01-may-02	APSA	6,7	1686	563	Prof	IM
F02	Barcelona	Saül	PB	MBP	01-may-02	APSA	23,5	5771	553	Prof	IM
F03	El Prat de Llob.	Sandoz Pou 1	PB	MBP	01-may-02	APSA	5,3	1178	499	Prof	IM
<b>MUESTRAS ANALIZADAS EN EL LABORATORIO DEL IGME (MADRID)</b>											
Sant Climent	Sant Climent de Llob.	Riera de Sant Climent	RI	REC	03-ene-03	IGME	0,069	55,0	1786	C. Lat.	AR
Prof: Acuífero profundo AR Presencia de aguas residuales o basuras enterradas											
Sup: Acuífero superficial MD Del Margen Derecho											
M. Der.: Acuífero único del Margen derecho IM Intrusión marina (afección)											
C. Lat.: Cauce de la riera de Sant Climent VB Del Valle Bajo											

SP: Sondeo puntual, PB: pozo en bombeo, RI: riera, TMS: tomamuestras sumergible, MBP: muestra de bombeo de pozo, REC: recipiente

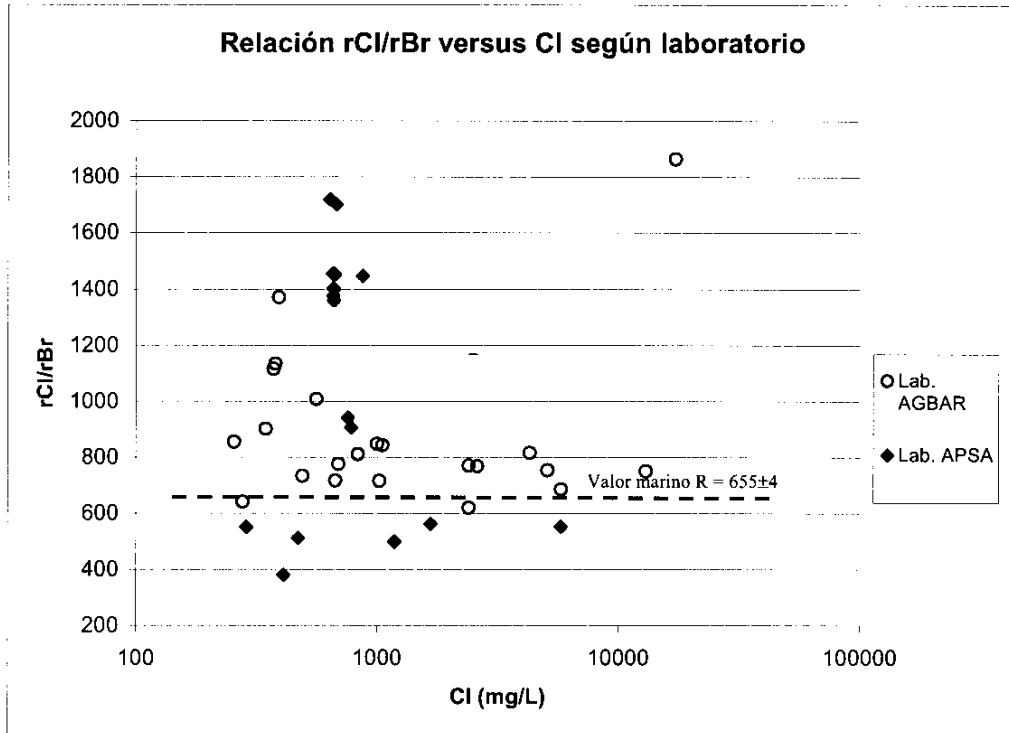


Figura 1.- Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl según laboratorios

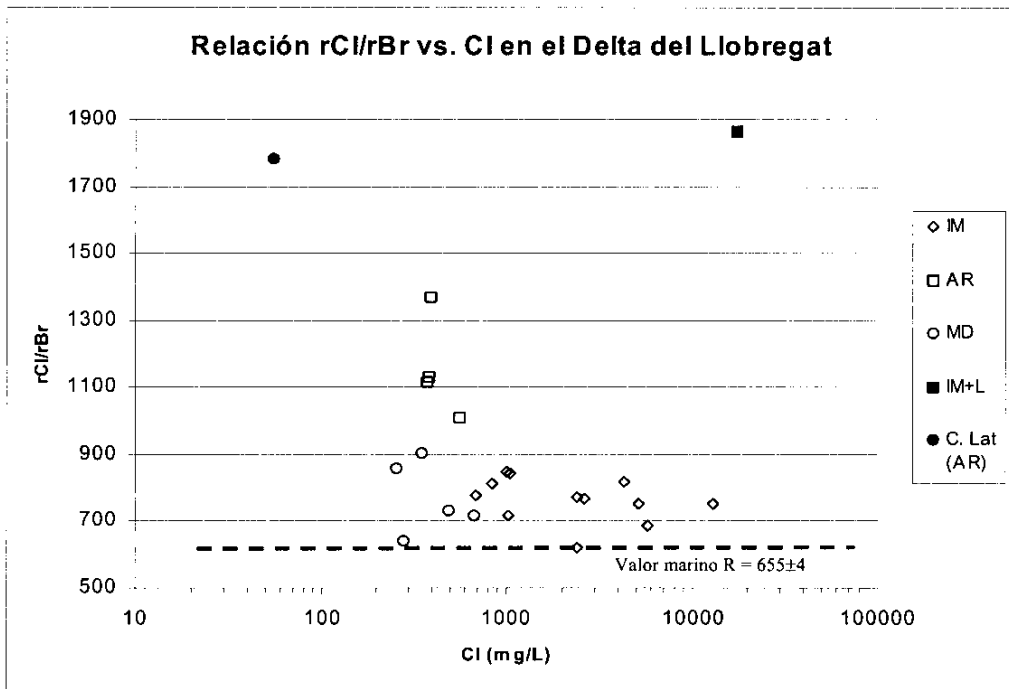


Figura 2.- Representación de la relación rCl/rBr vs. Cl en las muestras de AGBAR. La leyenda de los grupos de muestras es igual a la que aparece en la Tabla 1

## Otros datos y gráficas:

Se dispone de una analítica de elementos mayoritarios y minoritarios, y localización geográfica de todos los puntos.

---

### Resultados:

Los resultados de diferentes muestreos, realizados por participantes en el CIHS en diferentes zonas del acuífero, se han realizado en puntos donde es conocido el origen de la salinidad (Tabla 1).

Las muestras estudiadas han sido analizadas en dos laboratorios diferentes: AGBAR, APSA e IGME (Tabla 1). Los laboratorios de AGBAR y APSA utilizan cromatografía iónica, pero AGBAR utiliza paso lento en la determinación de Br, técnica que asegura un menor error en los resultados; al igual que el laboratorio del IGME. A partir de los datos obtenidos por el laboratorio de APSA, se desprende que el método de análisis utilizado es reproducible pero inexacto, ya que puede estar generando deriva en los resultados (Fig. 1). Por ello y por la menor dispersión de resultados, sólo se interpretaran en adelante los datos obtenidos por los laboratorios de AGBAR e IGME diferenciando con siglas los distintos tipos de muestras (Figura 2).

Los resultados se pueden resumir en:

- a) Aguas afectadas de intrusión marina tanto del Acuífero Profundo como del Superficial:  $R = 750 \pm 60$ , con una pequeña tendencia a disminuir a medida que el Cl crece. Es posible que exista una desviación sistemática hacia valores altos (para el agua marina 750 en vez de 655). Las muestras del Acuífero Superficial están localizadas principalmente en el borde costero y las del Profundo se adentran más en el acuífero.
- b) Aguas de aportes laterales con moderada afección humana:  $R = 620-900$  y contenidos de Cl entre 400 y 900  $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ . Muestras de pozos de AGBAR en Gavà donde captan el Acuífero Único del Margen derecho del Delta del Llobregat. En esta zona confluyen principalmente aguas provenientes del Valle Bajo y del Macizo de Garraf. La relativa alta salinidad de estas aguas es debida a la presencia de aguas residuales urbanas (en parte transferidas desde el Bajo Llobregat), retornos de riego, actividades industriales, y a la presencia de lixiviados de escombros y basuras enterradas.
- c) Aguas con contaminación de residuos sólidos y/o aguas residuales urbanas:  $R = 1000-1400$ , explicable por la incorporación de salita de uso doméstico e industrial. No están afectadas por otros procesos importantes que modifiquen sustancialmente su salinidad. Presentan contenidos sustanciales de  $\text{NH}_4$ , B,  $\text{NO}_3$ ,  $\text{PO}_4$ . Se han tomado en Gavà y Castelldefels.
- d) Una muestra de agua de origen marino presenta un valor de  $R = 1864$ . Esta agua está fuertemente antropizada por contaminación de vertidos y presenta signos de descomposición orgánica ( $\text{pH} = 4,94$ , contenido en  $\text{SO}_4$  de 3,2  $\text{mg/L}$  y medio reductor).
- e) Una muestra tomada en el cauce de la riera de Sant Climent, aguas abajo de la localidad de Sant Climent de Llobregat y afectada de forma visible por los vertidos de aguas residuales urbanas. Su contenido

relativo en  $\text{NO}_3$  es relativamente alto (20 mg/L). Presenta, para  $\text{Cl} = 55$  mg/L un valor de  $R = 1786$ .

---

#### Discusión:

Las muestras afectadas por intrusión marina presentan valores superiores al típico marino. Parece existir una desviación sistemática hacia valores altos (para el agua marina 750 en vez de 655). Se intuye que el resto de valores de  $R$  obtenidos presenten igual efecto.

Las muestras afectadas por la presencia de aguas residuales con halita de uso doméstico dan valores de  $R$  entre 1000 y 1400, aspecto esperable, aunque tal vez algo altos por la desviación de valores obtenida. Una muestra claramente afectada por aguas residuales presenta un valor de  $R = 1786$ . Otras muestras afectadas por lixiviados de escombros y basuras enterradas presentan valores de  $R$  que oscilan entre 800 y 1000.

La muestra de agua de origen marino con signos de reducción, parece estar afectada por vertidos de aguas residuales (se sospecha que el muestreo se ha realizado cerca de una fosa séptica). Su valor de  $R = 1864$ . La interpretación puede ser dudosa.

---

#### Conclusiones:

Las muestras afectadas por intrusión marina presentan valores superiores al típico marino, posiblemente debidos a desviación sistemática hacia valores altos (para el agua marina 750 en vez de 655). La presencia de aguas residuales hace que  $R$  tome valores entre 1000 y 1400, mientras que las aguas que incorporan lixiviados de escombros y basuras enterradas tienen un  $R$  de entre 800 y 1000. Una muestra claramente afectada por aguas residuales presenta un valor de  $R = 1786$ . Una muestra de agua marina muy antropizada (medio reductor) muestra un valor de  $R$  superior a 1800.

---

#### Acciones:

No se seguirá estudiando esta zona, no obstante sería recomendable estudiar una muestra de agua de mar local para obtener un valor de  $R$  y poder compararlo con las muestras asociadas a intrusión marina.

---

#### Referencias específicas:

- Candela, L. (1980). *Estudio de las afecciones hidrológicas por contaminación de boro en el acuífero aluvial del sector de "El Rourel" (Gavà-Barcelona)*. Tesis de Licenciatura. Univ. de Granada (inérita).
- Custodio, E. 1981. Seawater encroachment in the Llobregat and Besós areas, near Barcelona (Catalonia, Spain). *In.: SeaWater Intrusion Meeting, Intruded and Fossil Groundwater of Marine Origen*. Sveriges Geologiska Undersökning, Rapporten och Meddelanden 27: 949-976. Uppsala.
- Custodio, E. 1987. Seawater intrusion in the Llobregat delta near Barcelona (Catalonia, Spain). *In.: Groundwater problems in the coastal areas. Studies and Reports in Hydrology*, 45: 436-463. UNESCO.

- Custodio, E., Galofré, A. y Guardiola, J. 1983. Estudio sumario de la contaminación salina del acuífero del Valle Bajo del Llobregat en el entorno de Molins de Rei (Barcelona). *In: III Simposio de Hidrogeología*. VIII: 495-508. Madrid.
- Iribar, V. 1992. *Evolución hidroquímica e isotópica de los acuíferos del Baix Llobregat*. Tesis Doctoral. 125 págs. Univ. de Barcelona (inédita).
- Marqués, M. A. 1984. *Les formacions quaternàries del Delta del Llobregat*. Institut d'Estudis Catalans. 208 págs. Barcelona.
- Subirana, J. M. 1983. *Estudi de la contaminació de las aigües subterrànies del Baix Llobregat*. Tesis de Licenciatura, 152 pp. Univ. de Barcelona (inédita).

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFERO DEL VALLE BAJO DEL LLOBREGAT (Barcelona)**

6. Río Llobregat en Sant Joan Despí (AGBAR)
7. Río Llobregat en El Prat de Llobregat (CIHS)
8. Piezómetro P-1 en Cornellà (AGBAR)
9. Cubeta de Sant Andreu de la Barca (entre Molins de Rei y Pallejà)
10. Valle Bajo entre Cornellà y Pallejà

Fecha de muestreo:

- Río Llobregat en Sant Joan Despí: cada muestra representa una media mensual de análisis diarios del río Llobregat para un primer periodo desde 1980 a 1989; y para un segundo periodo desde 1997 a 2003
- Río Llobregat en El Prat de Llobregat: una muestra tomada en mayo de 2002
- Piezómetro P-1 (febrero-marzo de 1982)
- Cubeta de Sant Andreu de la Barca (mayo 2001)
- Valle Bajo entre Cornellà y Pallejà (abril-mayo 2001)

Muestreador:

- Río Llobregat en Sant Joan Despí: técnicos de AGBAR
- Río Llobregat en El Prat de Llobregat: Francisco Javier Alcalá
- Piezómetro P-1: técnicos de AGBAR
- Cubeta de Sant Andreu de la Barca (Sonia Martín y Noemí López, CIHS)
- Valle Bajo entre Cornellà y Pallejà (Mónica Ondiviela y Alexandre Nogués, CIHS)

Descripción: Francisco Javier Alcalá

Colaboración: Leonard Matia

Comentarios: Francisco Javier Alcalá, Enric Vázquez, Emilio Custodio

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: septiembre 2003

Organismos 1: AGBAR  
2: CIHS  
3: UPC  
4: IGME

Objetivos:

- Determinar el valor de la relación rCl/rBr de muestras tomadas en el río Llobregat, Valle Bajo del Llobregat y Cubeta de Sant Andreu, que corresponden a aguas típicas del acuífero, de recarga lateral, afectadas por aguas residuales, posiblemente afectadas por vertidos



industriales, etc.

Características del muestreo: variado (ver distintas tablas de resultados)

Características de las aguas superficiales: el río Llobregat es la principal aportación, que proviene principalmente de las regiones centrales y altas de la cuenca, en sus dos partes: río Llobregat y río Cardener. Ambos reciben aportes salinos de las explotaciones de potasas de Suria (la única actualmente en explotación), Cardona, Sallent, y Balsareny, y del lavado de afloramientos salinos y escombreras y halita y de estériles de la explotación. Esta contaminación salina eleva el valor de  $R = rCl/rBr$ , tanto más cuanto más domina la halita. El afluente principal es el río Anoia, que confluye en Martorell y drena una cuenca con abundancia de yesos. Aguas abajo confluye la Riera de Rubí, que conduce una elevada proporción de aguas usadas del área de Terrassa que en buena parte proceden del propio Llobregat. Próximo a esta última confluencia se inicia el Canal de la Infanta, que bordea el margen izquierdo y toma agua del río Llobregat, aunque se le añade la Riera de Rubí y partes de las aguas bajas del Anoia; actualmente riega las especies agrícolas que puedan entre Molins de Rei y Cornellà. Aguas debajo de Sant Vicenç dels Horts se inicia el Canal de la Dreta, que riega la margen derecha del Valle Bajo y una proporción del Delta, y toma exclusivamente agua del río Llobregat.

Características del acuífero: El Valle Bajo del río Llobregat constituye un acuífero libre detrítico cuaternario con espesores medios de 20 a 30 m y muy permeable (PHPO, 1985; Iribar, 1992). Dentro de este sistema acuífero longitudinal se delimitan unas cubetas sedimentarias de origen tectónico que constituyen subacuiferos ligados al sistema principal (eg. Cubeta de Sant Andreu de la Barca y Cubeta de Abrera). A cota superior y conectadas al acuífero del Valle Bajo aparecen un conjunto de terrazas Plio-Cuaternarias (Solé-Sabarís, 1963), alimentadas por el agua de lluvia, retornos urbanos, etc., y localmente por los aluviales de las rieras que tributan al Llobregat (Custodio, 1994; Custodio *et al.*, 1983; Skupién y Marquínez, 1995). Este acuífero soporta una fuerte explotación y el asentamiento de numerosas actividades industriales y una población importante.

Las características hidroquímicas de las aguas subterráneas del Valle Bajo dependen en gran manera de la infiltración de aguas del río Llobregat en el cauce o por recarga artificial, y de la infiltración de aguas de los canales de riego en sus acequias y como excedentes de riego (se aplican con dotaciones altas o muy altas) (Custodio *et al.*, 1993; Custodio, 1994). Así, en la margen izquierda del Valle Bajo, a la influencia del agua del río Llobregat se suma la del río Anoia y riera de Rubí a través del Canal de la Infanta. Con importancia menor, pero con influencia local, se tienen los aportes locales de la lluvia local en las cuencas de las rieras menores y sobre las vertientes, además de los efectos de las áreas urbanas e industriales (Subirana, 1983), que pueden incluir retornos salinos de plantas de ablandamiento por intercambio iónico (Custodio *et al.*, 1983).

La Cubeta de Sant Andreu de la Barca, como caso particular estudiado, está alimentada por las aguas del aluvial del río Llobregat y los aportes de cuencas laterales (la riera de Rubí es su mayor tributario), retornos de riego, etc.

(Custodio, 1984). Esta cubeta está constituida por 2 terrazas aluviales que constituyen dos acuíferos diferenciados y conectados. La terraza T0, a cota inferior, corresponde al aluvial actual del río Llobregat y la terraza T1, del cuaternario antiguo, está a cota superior (Solé-Sabarís, 1963). Existen diferencias hidroquímicas y de origen de la salinidad entre las aguas de ambas terrazas, consecuencia de la alimentación por infiltración del río Llobregat en la T0; y de los aportes laterales, principalmente por recarga lateral, retornos agrícolas y urbanos, en la T1. La riera de Rubí infiltra agua en la parte inferior del área. Hasta hace algunos años funcionó el Canal de la Infanta, que llevaba agua del río Llobregat, tomada en el estrecho de Martorell, a lo largo de parte de la terraza alta de la margen derecha.

#### Comprobaciones buscadas:

Determinar la variación temporal del contenido de Cl y valor de R del río Llobregat, afectado por numerosos tipos de salinidad, durante los periodos de 1980 a 1989 y desde 1997 a 2003. Caracterizar el valor de R para aguas comunes del Valle Bajo, cuya salinidad es debida principalmente de la infiltración (directa en el cauce; indirecta como retorno de regadíos de alta dotación) del río Llobregat, aportes laterales y puntualmente muestras afectadas por vertidos de diferente naturaleza en distintos periodos temporales; y determinar el valor de R para aguas de la terraza T0 y T1 de la Cubeta de Sant Andreu de la Barca, afectada por procesos similares a los descritos en el Valle Bajo.

Tabla 1.a.- Resultados obtenidos del análisis químico del agua del río Llobregat desde 1980 a 1989 en Sant Joan Despí (Barcelona). Los valores representan el valor medio mensual obtenido a partir de varias muestras individuales que incluyen determinaciones de Cl y Br. El laboratorio de AGBAR ha recogido las muestras en un recipiente y las ha analizado

F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr	F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr
01-ene-80	1,16	643,9	1249	01-ene-85	0,69	508,7	1659
01-feb-80	0,67	480,2	1613	01-feb-85	1,12	554,9	1115
01-mar-80	0,58	509,1	1975	01-mar-85	1,43	625,2	984
01-abr-80	0,56	614,2	2468	01-abr-85	1,15	549,8	1076
01-may-80	0,89	497,3	1257	01-may-85	0,9	440,6	1102
01-jun-80	0,23	398,2	3895	01-jun-85	0,75	463	1389
01-jul-80	1,24	575	1043	01-jul-85	1,65	659	899
01-ago-80	1,1	679,2	1389	01-ago-85	1,88	683,1	818
01-sep-80	1,14	652,1	1287	01-sep-85	1,92	768,5	901
01-oct-80	0,9	563,3	1408	01-oct-85	1,93	725,9	846
01-nov-80	1,2	558,8	1048	01-nov-85	1,57	774,2	1110
01-dic-80	1,03	667,3	1458	01-dic-85	1,99	992	1122
01-ene-81	1,1	704	1440	01-ene-86	1,56	874,7	1262
01-feb-81	1,3	792	1371	01-feb-86	1,31	728,3	1251
01-mar-81	1,3	650,8	1126	01-mar-86	1,11	653,1	1324
01-abr-81	0,64	520,2	1829	01-abr-86	1,16	664,5	1289
01-may-81	0,83	497,5	1349	01-may-86	1,49	697,9	1054
01-jun-81	0,74	663,8	2018	01-jun-86	1,56	755	1089
01-jul-81	0,59	418,9	1598	01-jul-86	2,57	856,4	750
01-ago-81	1,58	607,4	865	01-ago-86	2,14	857,1	901
01-sep-81	1,44	630,9	986	01-sep-86	1,83	688,1	846
01-oct-81	1,25	589,6	1061	01-oct-86	1,62	688	956
01-nov-81	1,34	577,6	970	01-nov-86	2,01	753	843
01-dic-81	1,5	567,6	851	01-dic-86	0,91	713,4	1764
01-ene-82	0,7	404,2	1299	01-ene-87	1,12	736,9	1480
01-feb-82	0,44	367,7	1880	01-feb-87	0,47	651	3116
01-mar-82	0,23	316,1	3092	01-mar-87	0,81	785,9	2183
01-abr-82	0,27	212,9	1774	01-abr-87	0,82	604	1657
01-may-82	0,76	364,7	1080	01-may-87	0,84	722	1934
01-jun-82	0,8	368	1035	01-jun-87	0,78	814	2348
01-jul-82	1,47	617,3	945	01-jul-87	0,75	724,2	2173
01-ago-82	1,19	573,3	1084	01-ago-87	1,71	691,9	910
01-sep-82	0,91	533,5	1319	01-sep-87	0,94	713,6	1708
01-oct-82	1,27	530,3	940	01-oct-87	0,54	442,3	1843
01-nov-82	0,5	279,1	1256	01-nov-87	0,73	465,4	1434
01-dic-82	0,4	327,2	1841	01-dic-87	0,69	344,6	1124
01-ene-83	0,59	535,9	2044	01-ene-88	0,41	387,3	2125
01-feb-83	0,45	632,8	3164	01-feb-88	0,43	410,2	2146
01-mar-83	0,93	507,1	1227	01-mar-88	0,5	484,9	2182
01-abr-83	1,13	560	1115	01-abr-88	0,62	525	1905
01-may-83	1,3	605,6	1048	01-may-88	0,5	396	1782
01-jun-83	1,26	521,4	931	01-jun-88	0,74	448,5	1364
01-jul-83	1,28	723,1	1271	01-jul-88	0,91	526	1301
01-ago-83	1,65	671,9	916	01-ago-88	1,37	674	1107
01-sep-83	1,4	729	1172	01-sep-88	1,11	667,3	1353
01-oct-83	1,25	789,1	1420	01-oct-88	1,28	742	1304
01-nov-83	0,43	448,6	2347	01-nov-88	0,99	735	1670
01-dic-83	0,6	438,5	1644	01-dic-88	1,1	821,4	1680
01-ene-84	0,62	535,9	1945	01-ene-89	1,27	867,3	1537
01-feb-84	0,91	632,8	1565	01-feb-89	1,97	937,5	1071
01-mar-84	0,31	374	2715	01-mar-89	2,2	1057,3	1081
01-abr-84	0,29	353,9	2746	01-abr-89	2,12	984,6	1045
01-may-84	0,24	346,1	3245	01-may-89	1,07	827,8	1741
01-jun-84	0,41	296,9	1629	01-jun-89	2,1	909,6	975
01-jul-84	1,14	598,7	1182	01-jul-89	1,93	1041,8	1215
01-ago-84	1,7	638,4	845	01-ago-89	1,71	880,2	1158
01-sep-84	1,43	669,3	1053	01-sep-89	1,56	868	1252
01-oct-84	0,95	592,9	1404	01-oct-89	2,82	1136,5	907
01-nov-84	0,71	449,5	1424	01-nov-89	1,3	788,1	1364
01-dic-84	0,35	392,8	2525	01-dic-89	1,44	738,8	1154

Tabla 1.b.- Resultados obtenidos del análisis químico del agua del río Llobregat desde 1997 a 2003 en Sant Joan Despí (Barcelona). Los valores representan el valor medio mensual obtenido a partir de varias muestras individuales que incluyen determinaciones de Cl y Br. El laboratorio de AGBAR ha recogido las muestras en un recipiente y las ha analizado

F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr	F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr
ene-97	0,51	210	925	ene-00	0,82	346	950
feb-97	0,52	225	975	feb-00	1,00	416	936
mar-97	0,61	243	896	mar-00	0,85	348	921
abr-97	0,76	328	970	abr-00	0,73	306	944
may-97	0,78	343	990	may-00	0,80	277	778
jun-97	0,83	339	918	jun-00	1,35	662	1104
jul-97	0,80	379	1066	jul-00	1,18	453	863
ago-97	0,78	415	1196	ago-00	0,97	342	794
sep-97	0,69	298	972	sep-00	1,27	317	562
oct-97	0,98	397	911	oct-00	0,66	289	986
nov-97	0,96	413	967	nov-00	0,77	312	912
dic-97	0,68	329	1090	dic-00	0,63	261	932
ene-98	0,50	281	1262	ene-01	0,59	254	968
feb-98	0,62	311	1129	feb-01	0,69	291	947
mar-98	0,66	336	1144	mar-01	0,73	291	898
abr-98	0,68	321	1062	abr-01	0,86	347	908
may-98	0,92	356	870	may-01	0,77	321	939
jun-98	0,76	320	948	jun-01	0,74	297	902
jul-98	0,90	364	910	jul-01	0,65	257	890
ago-98	0,83	322	872	ago-01	0,70	251	808
sep-98	0,82	329	904	sep-01	0,55	239	977
oct-98	0,65	330	1144	oct-01	0,61	265	976
nov-98	0,75	333	998	nov-01	0,68	278	920
dic-98	0,89	341	863	dic-01	0,94	333	798
ene-99	0,58	289	1121	ene-02	0,83	339	920
feb-99	0,67	329	1104	feb-02	0,85	331	877
mar-99	0,96	426	998	mar-02	0,77	321	939
abr-99	0,87	386	998	abr-02	0,53	305	1295
may-99	0,71	368	1166	may-02	0,69	303	987
jun-99	0,92	361	883	jun-02	0,87	361	935
jul-99	0,76	313	928	jul-02	0,91	348	861
ago-99	0,83	284	770	ago-02	0,61	233	860
sep-99	0,71	394	1250	sep-02	0,79	335	953
oct-99	0,79	321	915	oct-02	0,71	461	1462
nov-99	0,63	274	979	nov-02	0,86	401	1049
dic-99	0,75	326	978	dic-02	0,48	235	1102
				ene-03	0,61	273	1005
				feb-03	0,56	270	1083
				mar-03	0,39	196	1132

Tabla 1.c.- Resultados obtenidos del análisis químico de una muestra puntual del río Llobregat en 2002 en El Prat de Llobregat (Barcelona). La muestra se ha recogido con un recipiente y ha sido analizada en laboratorio de AGBAR

F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr
23-may-02	4,9	2500	1148

Tabla 1.d.- Resultados del muestreo realizado en el piezometro P-1, localizado en Cornellà (Valle Bajo), durante 1982 y 1983. Las muestras fueron tomadas con achicador y han sido analizadas en el laboratorio de AGBAR

F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr
09-feb-82	1,67	553	745
16-feb-82	1,81	539	670
23-feb-82	1,55	539	782
02-mar-82	1,50	539	809
16-mar-83	1,66	539	730

Tabla 1.e. Resultados del muestreo realizado en el Valle Bajo y Cubeta de Sant Andreu de la Barca durante 2001. Todas las muestras fueron analizadas en el laboratorio del IGME en Tres Cantos (Madrid)

Muestra	Ident. Lab.	T.M. / Paraje	Topónimo	Terraza	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/Br	rNa/rK	Clave
Estrella 1	01/463-01	Valle Bajo	Estrella 1-SGAB	Valle Bajo	PB	MBP	30-abr-01	1,006	324,0	725	10,6	R
F-4	01/463-05	Valle Bajo	Piez. ACA (F-4)	Valle Bajo	SP	TMS	14-may-01	1,005	335,7	752	9,3	R
G-4b	01/463-07	Valle Bajo	Piez. ACA (G-4b)	Valle Bajo	SP	TMS	14-may-01	0,967	327,9	763	10,8	R
Pozo 6	01/463-16	Valle Bajo	Pozo 6-SGAB	Valle Bajo	PB	MBP	30-abr-01	1,105	363,9	741	10,8	R
L'Urgellet	01/463-12	Valle Bajo	Tedesá	Valle Bajo	PB	MBP	21-may-01	0,947	300,7	714	9,2	R
G-6	01/463-08	Valle Bajo	Piez. ACA (G-6)	Valle Bajo	SP	TMS	14-may-01	0,600	205,1	768	7,1	R
P-9	01/463-15	Valle Bajo	APIA XXI	Terraza derecha	SP	TMS	28-may-01	0,898	283,3	710	13,9	R
SV AGBAR	01/463-19	Valle Bajo	SV-SBAB	Valle Bajo	SP	TMS	30-abr-01	0,722	235,2	733	13,1	R
Estrella 4	01/463-02	Valle Bajo	Estrella 4-SGAB	Valle Bajo	PB	MBP	30-abr-01	0,761	283,7	839	7,8	ES
Estrella 6	01/463-03	Valle Bajo	Estrella 6-SGAB	Valle Bajo	PB	MBP	21-mar-01	0,754	291,6	870	9,8	ES
F-1	01/463-04	Valle Bajo	Piez. ACA (F-1)	Valle Bajo	SP	TMS	14-may-01	0,682	264,0	871	10,0	ES
G-5	01/463-06	Valle Bajo	Piez. ACA (G-5)	Valle Bajo	SP	TMS	14-may-01	0,922	348,6	853	9,9	ES
Pou del Pla	01/463-16	Valle Bajo	Tedesá	Valle Bajo	PB	MBP	21-may-01	0,831	313,8	850	7,6	ES
Pozo 10	01/463-17	Valle Bajo	Pozo 10-SGAB	Valle Bajo	PB	MBP	30-abr-01	0,883	339,5	865	11,5	ES
G-9	01/463-09	Valle Bajo	Piez. ACA (G-9)	Terraza izquierda	SP	TMS	14-may-01	1,512	443,2	560	73,1	RE
H-13	01/463-10	Valle Bajo	Cementos Molins	Terraza derecha	PB	MBP	16-may-01	0,999	297,1	659	12,2	RE
H-20	01/463-11	Valle Bajo	Cementos Molins	Terraza derecha	PB	MBP	16-may-01	0,544	244,1	1010	10,6	AR
P-10	01/463-13	Valle Bajo	APIA XXI	Terraza derecha	SP	TMS	28-may-01	0,616	270,9	990	10,2	AR
P-8	01/463-14	Valle Bajo	APIA XXI	Terraza derecha	SP	TMS	28-may-01	0,616	274,0	1001	13,2	AR

Muestra	Ident. Lab.	T.M. / Paraje	Topónimo	Terraza	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/Br	rNa/rK	Clave
COGASA	01/463-46	C. Sant Andreu	Cogasa	T0 izq	PB	MBP	24-may-01	1,127	470,3	939	3,8	AR
P-133	01/463-33	C. Sant Andreu	Pozo particular	T1 der	PB	MBP	21-may-01	1,043	424,7	916	1,8	AR
P-122	01/463-34	C. Sant Andreu	Lab. Almirall	T1 der	PB	MBP	14-may-01	0,882	302,8	772	0,5	AR
ALTOSA	01/463-35	C. Sant Andreu	Allosa	T1 der	PB	MBP	24-may-01	0,704	323,5	1034	2,1	AR
P-65	01/463-40	C. Sant Andreu	Celso	T0 aluv	PB	MBP	07-may-01	1,303	274,4	474	2,7	R
P-92	01/463-42	C. Sant Andreu	ICA	T0 aluv	PB	MBP	07-may-01	1,405	275,2	441	2,4	R
P-104	01/463-43	C. Sant Andreu	Celso	T0 izq	PB	MBP	07-may-01	1,808	324,4	404	2,9	R
P-148	01/463-44	C. Sant Andreu	Congis (H.Q.)	T0 izq	PB	MBP	07-may-01	1,689	357,9	477	2,7	R
P-22	01/463-36	C. Sant Andreu	Pozo particular	T0 aluv	PB	MBP	14-may-01	0,794	312,1	884	2,9	R
P-24	01/463-37	C. Sant Andreu	Pozo particular	T0 aluv	PB	MBP	14-may-01	0,873	294,9	760	2,8	R
P-7	01/463-41	C. Sant Andreu	ENCO	T0 aluv	PB	MBP	07-may-01	0,730	255,1	786	2,5	R
P-93	01/463-39	C. Sant Andreu	Pozo particular	T0 aluv	PB	MBP	07-may-01	0,693	254,9	828	2,4	R
P-56	01/463-36	C. Sant Andreu	Aguas Castellbisbal	T0 izq	PB	MBP	07-may-01	0,711	251,1	794	2,4	R
P-141	01/463-45	C. Sant Andreu	Pozo particular	T0 der	PB	MBP	21-may-01	0,69	274,1	894	1,8	R
P-123	01/463-32	C. Sant Andreu	Alfa Manuf.	T1 der	PB	MBP	07-may-01	0,244	90,6	835	2,5	RE
P-Gasolinera	01/463-47	C. Sant Andreu	Allosa	T0 der	PB	MBP	17-may-01	0,499	172,8	779	1,5	RE

Claves:	
R	Agua de infiltración proveniente del río
ES	Aguas posiblemente afectadas por lavado de escombros enterrados
RE	Agua asociada a aportes laterales. Los análisis químicos muestran cierta afección por aguas residuales y retornos de riego
AR	Aguas afectadas por vertidos de aguas residuales

**Claves de la Tabla 1.e:**

CLAVES CAPTACIÓN		CLAVES MET. MUESTREO	
Sondeo Puntual	SP	Muestra de Bombeo de Pozo	MBP
Pozo en Bombeo	PB	Tomanuestras Sumergible	TMS

**Otros datos y gráficas:**

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios para todo el periodo de muestreo del río Llobregat desde 1980 a 1989, y sólo se han manejado los datos de Cl y Br para el periodo de muestreo desde 1997 a 2003. La muestra del río Llobregat tomada en El Prat de Llobregat cuenta con análisis químicos de elementos mayoritarios. El piezómetro P-1 cuenta con análisis químicos de elementos mayoritarios. Los análisis de pozos y piezómetros de la Cubeta de Sant Andreu y Valle Bajo desde Cornellá a Pallejà incluyen análisis químicos de elementos mayoritarios, algunos elementos minoritarios, trazas y metales pesados.

## 1. RÍO LLOBREGAT

### Resultados (Río Llobregat)

Se han analizado 195 datos (1 dato mensual representa el valor medio de varias determinaciones puntuales de Cl y Br a lo largo de un mes) del río Llobregat en Sant Joan Despí, para los periodos desde 1980 a 1989 (120 muestras, Tabla 1a) y desde 1997 a 2003 (75 muestras, Tabla 1b) (Fig. 1). El primer periodo presenta una alta variación de R para un mismo año y entre diferentes años (Fig. 2), y un valor de  $R = 1470 \pm 580$ ; para  $Cl = 620 \pm 180$  mg/L. El segundo periodo (1997-2003) presenta mucha menos dispersión entre años y entre meses (Fig. 2), con un valor de  $R = 975 \pm 130$ ; para  $Cl = 320 \pm 70$  mg/L. Se observa que el contenido medio de Cl disminuye a la mitad para el último periodo; los valores de R también disminuyen.

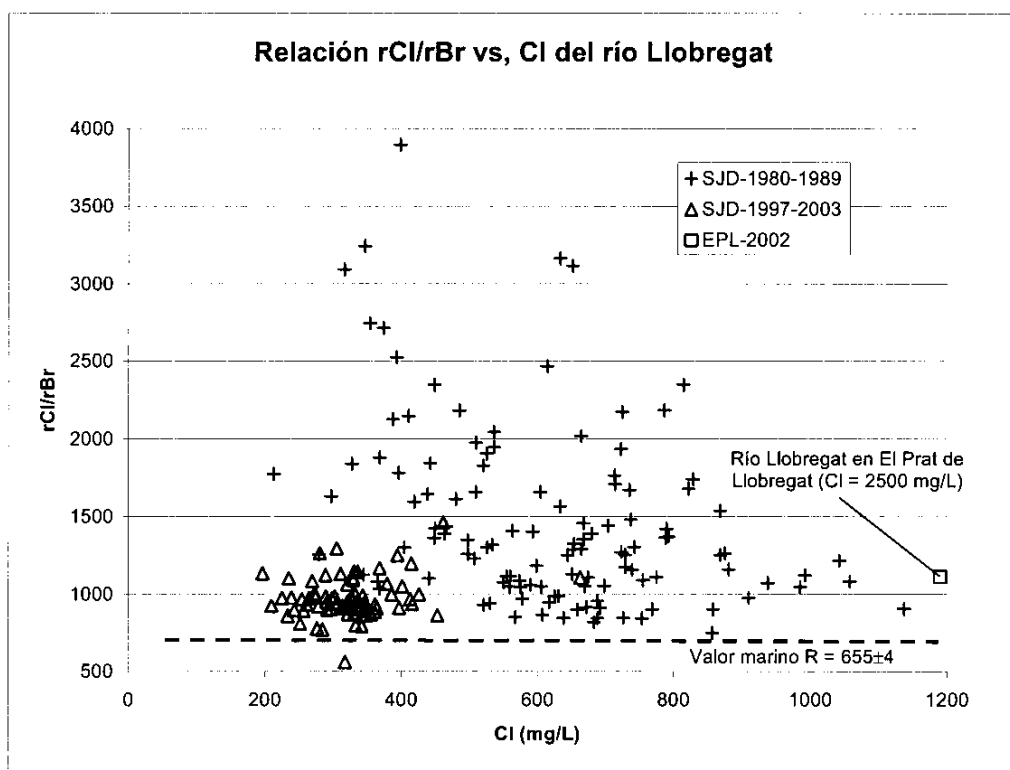


Figura 1.- Representación gráfica de rCl/rBr vs. Cl para el río Llobregat (1980-1989) y (1997-2003) en Sant Joan Despí (SJD) y muestra tomada en El Prat de Llobregat (EPL)

Las variaciones del contenido de Cl van acompañadas de variaciones de R (Fig. 2), menos destacadas en el segundo periodo y con valores de R más estables, a partir de 1989 cuando se puso en funcionamiento el salmueroducto. Se observa un descenso de Cl y R a partir de esa fecha (Fig. 2).

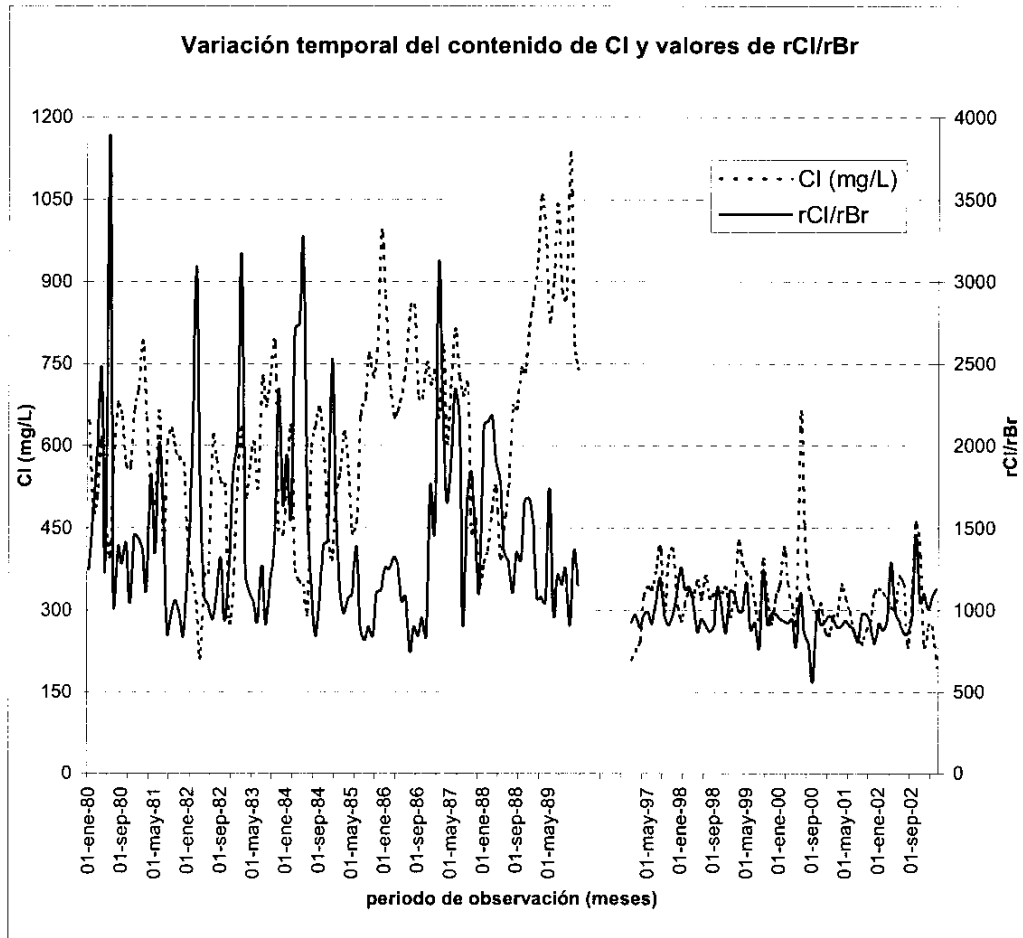
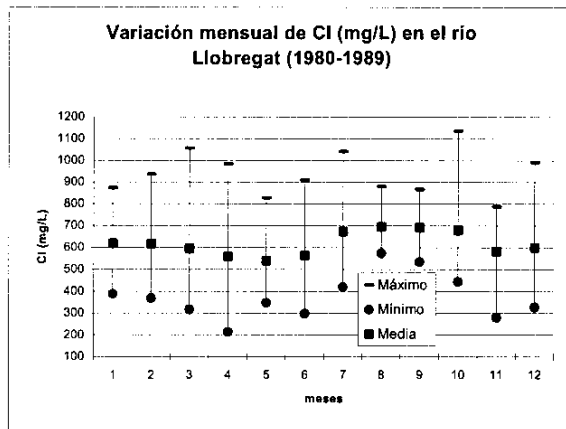


Figura 2.- Variación temporal del contenido de Cl (mg/L) y de la relación  $rCl/rBr$  en el río Llobregat desde 1980 hasta 2003; según los valores obtenidos en Sant Joan Despi. No se dispone de datos durante el periodo de enero de 1990 a diciembre de 1996. En 1987 entra en funcionamiento el salmueroducto en la cuenca media-alta del Llobregat, y en 1989 en la cuenca media-baja donde se ha realizado el muestreo de agua del río

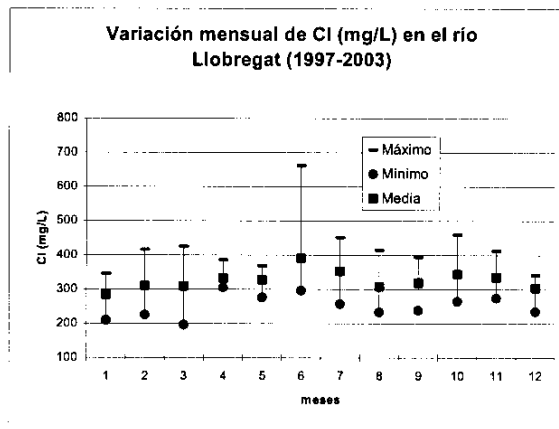
La representación de los valores medios mensuales de Cl y R para ambos periodos indica variaciones estacionales de ambas variables en el río Llobregat. En la Figura 3 se observa que los aumentos de Cl y R no se producen de forma sincrónica, sino que existe cierto desfase entre unas y otras. Los datos utilizados para realizar la Figura 3 aparecen respectivamente por periodos en las Tablas 2 y 3.

Durante 1980-1989, los dos máximos de concentración de Cl se producen durante enero-febrero y agosto-septiembre; mientras que los valores de R presentan máximos durante febrero-marzo y diciembre-enero.

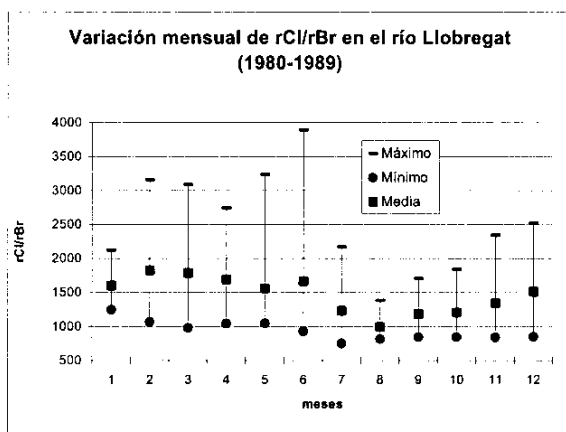
Durante 1997-2003 y con posterioridad a la fecha de funcionamiento del salmueroducto, los dos máximos de concentración de Cl se producen durante junio-julio y octubre-noviembre; mientras que los valores de R presentan máximos durante marzo-abril y octubre-noviembre.



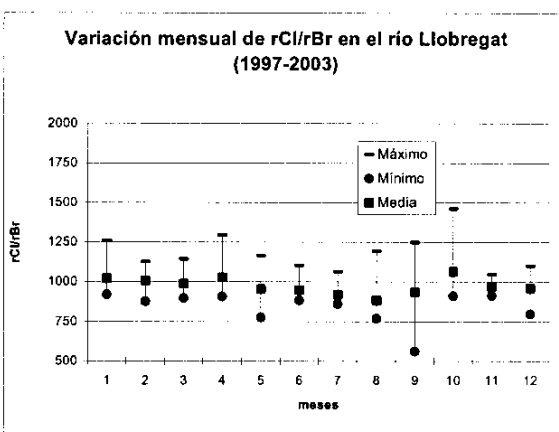
a



b



c



d

Figura 3.- Variación estacional del contenido de Cl (mg/L) y rCl/rBr en el río Llobregat desde 1980 hasta 2003; según los valores obtenidos del muestreo realizado en Sant Joan Despí para los periodos desde 1980 a 1989, y desde 1997 a 2003.

Tabla 2.- Variación mensual del contenido de Cl (mg/L) y valores de rCl/rBr (R) del río Llobregat para el periodo comprendido entre 1980 y 1989.

	enero		febrero		marzo		abril		mayo		junio		julio		agosto		septiembre		octubre		noviembre		diciembre	
	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R
1980	644	1249	480	1613	509	1975	614	2468	497	1257	398	3895	575	1043	679	1389	652	1287	563	1408	559	1048	667	1458
1981	704	1440	792	1371	651	1126	520	1829	498	1349	664	2018	419	1598	607	865	631	986	590	1061	578	970	568	851
1982	404	1299	368	1880	316	3092	213	1774	365	1080	368	1035	617	945	573	1084	534	1319	530	940	279	1256	327	1841
1983	536	2044	633	3164	507	1227	560	1115	606	1048	521	931	723	1271	672	916	729	1172	789	1420	449	2347	439	1644
1984	536	1945	633	1565	374	2715	354	2746	346	3245	297	1629	599	1182	638	845	669	1053	593	1404	450	1424	393	2525
1985	509	1659	555	1115	625	984	550	1076	441	1102	463	1389	659	899	683	818	769	901	726	846	774	1110	992	1122
1986	875	1262	728	1251	653	1324	665	1289	698	1054	755	1089	856	750	857	901	688	846	688	956	753	843	713	1764
1987	737	1480	651	3116	786	2183	604	1657	722	1934	814	2348	724	2173	692	910	714	1708	442	1843	465	1434	345	1124
1988	387	2125	410	2146	485	2182	525	1905	396	1782	449	1364	526	1301	674	1107	867	1353	742	1304	735	1670	821	1680
1989	867	1537	938	1071	1057	1081	985	1045	828	1741	910	975	1042	1215	880	1158	868	1252	1137	907	788	1364	739	1154
Media (x)	620	1604	619	1829	598	1789	559	1690	540	1559	564	1667	674	1237	696	999	692	1188	680	1209	583	1347	600	1516
Desv. Típ.	166	311	166	727	203	709	190	555	157	645	198	865	167	386	94	172	84	242	183	302	165	409	212	460
Mediana (m)	590	1508	633	1589	567	1649	555	1716	497	1303	492	1376	638	1198	677	913	679	1212	640	1183	568	1310	617	1551
m/x	0,95	0,94	1,02	0,87	0,95	0,92	0,99	1,02	0,92	0,84	0,87	0,83	0,95	0,97	0,97	0,91	0,98	1,02	0,94	0,98	0,97	0,97	1,03	1,02
máximo	875	2125	938	3164	1057	3092	985	2746	828	3245	910	3895	1042	2173	880	1389	868	1708	1137	1843	788	2347	992	2525
mínimo	387	1249	368	1071	316	984	213	1045	346	1048	297	931	419	750	573	818	534	846	442	846	279	843	327	851



Tabla 3.- Variación mensual del contenido de Cl (mg/L) y valores de rCl/rBr (R) del río Llobregat para el periodo comprendido entre 1997 y 2003.

	enero		febrero		marzo		abril		mayo		junio		julio		agosto		septiembre		octubre		noviembre		diciembre	
	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R	Cl	R
1997	210	925	225	975	243	896	328	970	343	990	339	918	379	1066	415	1196	298	972	397	911	413	967	329	1090
1998	281	1262	311	1129	336	1144	321	1062	356	870	320	948	364	910	322	872	329	904	330	1144	333	998	341	863
1999	289	1121	329	1104	426	998	386	998	368	1166	361	883	313	928	284	770	394	1250	321	915	274	979	326	978
2000	346	950	416	936	348	921	306	944	277	778	662	1104	453	863	342	794	317	562	289	986	312	912	261	932
2001	254	968	291	947	291	898	347	908	321	939	297	902	257	890	251	808	239	977	265	976	276	920	333	798
2002	339	920	331	877	321	939	305	1295	303	987	361	935	348	861	233	860	335	953	461	1462	401	1049	235	1102
2003	273	1005	270	1083	196	1132																		
Media (x)	284	1022	310	1007	309	890	332	1029	328	955	390	949	352	919	308	883	319	936	344	1066	335	971	304	960
Desv. Típ.	44	117	55	90	69	99	28	128	31	119	124	73	60	69	61	144	46	201	67	193	55	46	41	111
Mediana (m)	281	968	311	975	321	939	324	984	332	963	350	927	356	900	303	834	323	963	326	981	322	973	328	955
m/x	0,99	0,95	1,00	0,97	1,04	0,95	0,98	0,96	1,01	1,01	0,90	0,98	1,01	0,98	0,98	0,94	1,01	1,03	0,95	0,92	0,96	1,00	1,08	0,99
máximo	346	1262	416	1129	428	1144	386	1295	368	1166	662	1104	453	1066	415	1196	394	1250	461	1462	413	1049	341	1102
mínimo	210	920	225	877	196	896	305	908	277	778	297	883	257	861	233	770	239	562	265	911	274	912	235	798

Una muestra del río Llobregat tomada en El Prat de Llobregat (ámbito perteneciente al delta del río Llobregat, fuera del Valle Bajo) en mayo de 2002 (Tabla 1c) presenta una concentración de Cl = 2500 mg/L y R = 1148 que son mayores que los obtenidos en las muestras del río tomadas en Sant Joan Despí para ese periodo (Tabla 1b). El contenido de Cl y valor de R pueden atribuirse al vertido de salmueras de la zona minera al río Llobregat aguas debajo de Cornellà, ya que esta muestra se tomó con anterioridad a las obras de mejora de la conducción del salmueroducto (C. Salmorres) desde Cornellà hasta el mar de junio de 2002.

Se ha comparado la hidroquímica de esta muestra del río con la obtenida en el salmueroducto en varios muestreos realizados a la altura de Sant Boi de Llobregat, analizadas en el laboratorio de AGBAR y los resultados incluidos en el informe de SGAB (1992), parte de ellos incluidos en este trabajo. Los resultados muestran una alta similitud de los valores de rNa/rK, rCl/rBr de las muestras del salmueroducto y la muestra del río Llobregat tomada en El Prat en mayo de 2002 (Tabla 4). En la Tabla 4 se indican además valores químicos del colector de Solvay, los caudales de ambos colectores y los valores químicos promedio (varios análisis químicos mensuales) de la Riera de Rubí desde 1998 a 1999.

Tabla 4.- Resultados obtenidos de los análisis químicos mensuales (1 valor compuesto mensual) obtenidos en el Colector de Salmueras (C. Salmorres), Colector de la Factoría Solvay, Riera de Rubí y muestra tomada en el río Llobregat en mayo de 2002

Nombre	Ident. Lab.	Fecha	(unidades en g/L)										Relaciones iónicas				Q (L/s)	Origen		
			pH	HCO <sub>3</sub>	Br	Cl	Ca	CE	Dur. Tot.	Mg	K	Na	SO <sub>4</sub>	TAC	rNa/rK	rCl/rBr			rCl/rSO <sub>4</sub>	
C. Salmorres	Llob-116	ene-03	7,6	0,12	0,23	123	1,2	550	20	4,1	16	110	7	0,10	11,7	1203	23,8	89,2	AGBAR	
C. Salmorres	Llob-116	feb-03	7,6	0,12	0,22	117	0,98	460	19	4,1	19	110	7	0,1	9,8	1197	22,6	82,7	AGBAR	
C. Salmorres	Llob-116	mar-03	7,4	0,13	0,28	122	1,00	600	20,0	4,1	22	110	8	0,11	8,5	990	22,0	n.d.	AGBAR	
Solvay	Solvay	ene-03	7,8	0,43	0,027	21	0,09	50	n.d.	0,04	0,07	24	1,4	0,35	561	1750	20,3	52,2	AGBAR	
Solvay	Solvay	feb-03	8	0,07	0,025	20	0,08	30	n.d.	0,03	0,06	17	1,2	0,08	480	1786	22,5	57,7	AGBAR	
Solvay	Solvay	mar-03	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	63,9	AGBAR
Río Llobregat	Llobregat	24-may-02	7,80	0,23	0,005	2,50	0,18	7,93	0,88	0,10	0,32	1,36	0,40	n.d.	7,3	1148	8,5	n.d.	CIHS	
Riera de Rubí	Rubí	1998-1999	n.d.	0,46	n.d.	0,49	0,12	0,20	n.d.	0,03	0,04	0,37	0,25	n.d.	14,6	n.d.	2,6	n.d.	CIHS	

n.d. = no determinado

Llob-116 = Colector de Salmueras en Sant Boi de Llob.

CE = Conductividad eléctrica en mS/cm a 20°C

La variación del contenido de Cl y valores de R del río Llobregat observados en las Figuras 2 y 3 durante el periodo de 1980 a 1989 parecen seguir una evolución estacional que se relaciona con el caudal del río Llobregat durante 1980-1989. Se ha estudiado la distribución mensual de caudales del río Llobregat (1 valor compuesto

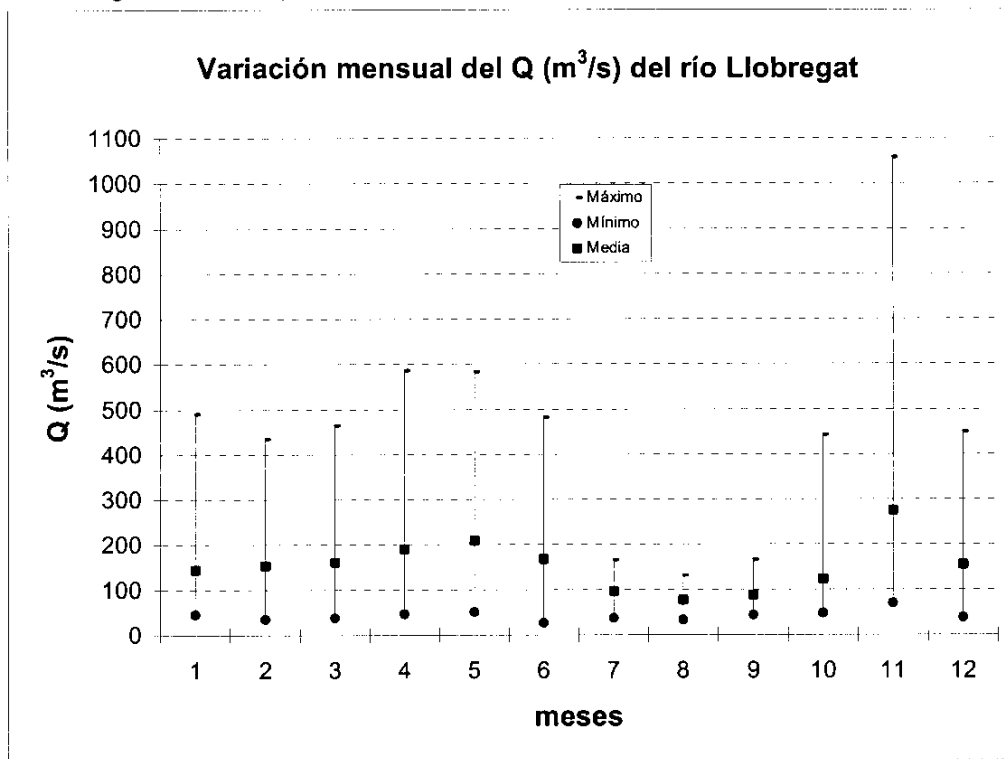
mensual de varias medidas puntuales de caudal en  $m^3/s$  durante 1980-1989 (Tabla 5 y Figura 4), con el objeto de establecer esta relación.

Tabla 5.- Variación del caudal medio mensual del río Llobregat (en  $m^3/s$ ) para el periodo comprendido entre 1980 y 1989

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1980	110	176	150	97	190	197	78	44	65	78	105	55
1981	45	35	68	135	109	135	166	65	103	107	75	82
1982	199	436	321	587	209	301	104	132	166	161	1058	315
1983	165	156	165	138	99	82	42	106	90	56	541	200
1984	125	105	466	453	584	482	136	115	128	94	293	227
1985	136	122	124	124	262	144	63	50	44	48	75	38
1986	59	69	65	91	51	34	37	33	54	106	70	64
1987	68	111	62	74	60	27	128	83	61	444	248	450
1988	491	294	160	159	473	228	162	83	67	80	166	53
1989	49	36	38	47	54	52	50	67	102	61	118	67
Media (x)	145	154	162	190	209	168	96	78	88	123	275	155
Desv. Tip.	132	125	134	179	185	142	49	32	38	117	311	140
Mediana (m)	117	117	137	130	149	139	91	75	78	87	142	74
m/x	0,81	0,76	0,85	0,68	0,71	0,83	0,94	0,96	0,89	0,70	0,52	0,48

Valores de Q en  $m^3/s$

Figura 4.- Representación gráfica de la variación de la media mensual del caudal ( $m^3/s$ ) del río Llobregat durante el periodo de 1980 a 1989



La comparación de las Figuras 2a y 3 respecto de la Figura 4 parece indicar cierta correlación inversa entre el contenido mensual de CI y caudal medio mensual del río. Para observar la relación entre los valores mensuales de caudal del río con los valores de R y contenido en CI del río en Sant Joan Despí, se han representado en un mismo gráfico las relaciones CI vs. Q y R vs. Q (Figura 5) para el periodo de 1980 a 1989.

Los valores de caudales medios mensuales del río presentan máximos en abril-mayo y noviembre, y mínimos entre julio y septiembre (época de estiaje), con rangos de variación importantes para los valores máximos indicados, que se deben asociar a eventos tormentosos importantes en la cuenca media-baja del Llobregat. El caudal del río se correlaciona, a grandes rasgos, con el régimen pluviométrico regional.

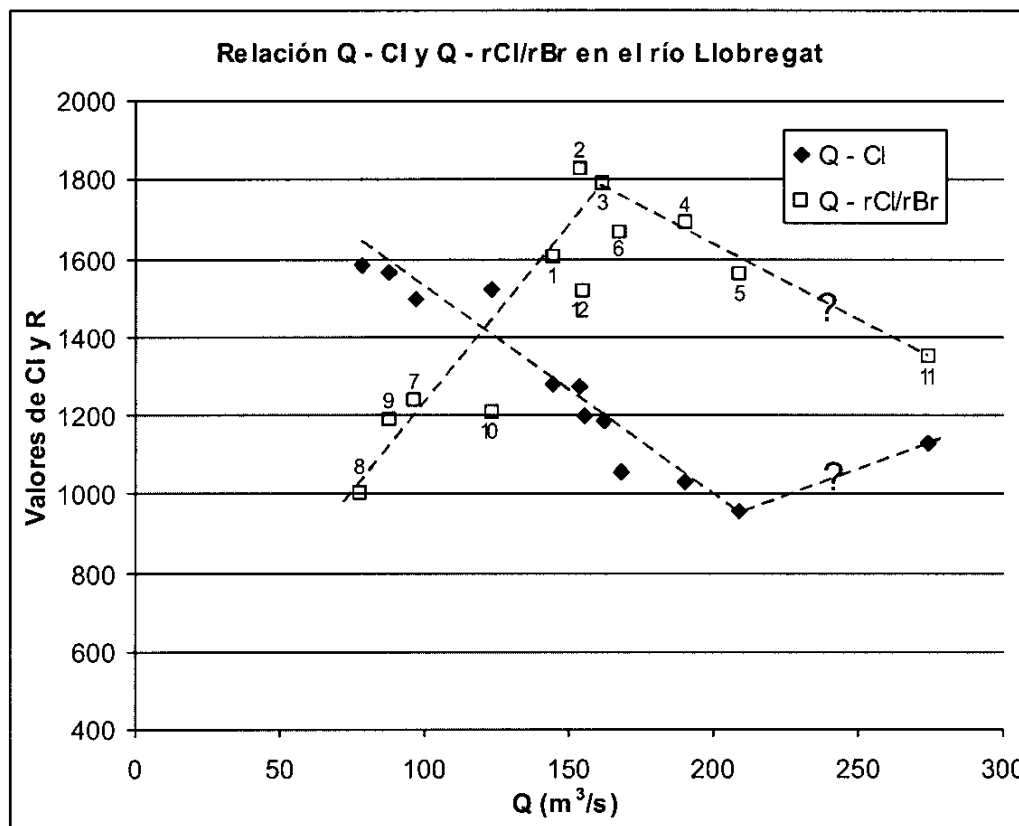


Figura 5.- Relación entre Q (valor de caudal medio mensual en m³/s) vs. Cl (mg/L), y Q (m³/s) vs. rCl/rBr en el río Llobregat para el periodo entre 1980 y 1989. El número sobre cada valor indica el mes correspondiente desde enero a diciembre

La cantidad de Cl en el río guarda una relación lineal inversa respecto al caudal medio, aunque para caudales medios superiores a 200 m³/s. La relación entre el caudal y R muestra una tendencia lineal positiva hasta caudales algo inferiores a 150 m³/s, donde parece que se invierte la tendencia. Los valores más altos de R se producen para caudales medios y en el periodo invernal, y los mínimos tienden a corresponder a caudales bajos y en el periodo estival tardío.

## Discusión (Río Llobregat)

Durante el periodo de 1980 a 1989 se ha constatado una salinidad y valores de R mayores que durante el periodo de 1997 a 2003. Está asociado a las mejoras realizadas a partir de 1989 en la recogida y conducción por tubería de las salmueras de origen minero e industrial en la cuenca media-alta y media-baja del río Llobregat. El primer periodo presenta contenidos medios de Cl  $\sim$  620 mg/L y valores de R  $\sim$  1400. Durante este periodo el laboratorio de AGBAR no disponía aún de las mejoras realizadas a comienzos de la década de 1990 en la determinación de Br. Los valores altos de R están en relación con los vertidos salinos puntuales al río Llobregat que se realizaban desde la cuenca minera potásica (lixiviado de halita) y desde algunas industrias que utilizan halita en su proceso industrial. Tras la mejora de captación y la conducción de estas salmueras se ha constatado una reducción a la mitad del contenido de Cl y un descenso hasta valores de R  $\sim$  970.

Algunos valores medios del colector de salmueras indican contenidos muy altos de Cl y valores de R = 1100-1200, mientras que el colector de la empresa Solvay, empresa que utiliza halita en sus procesos industriales, presenta valores medios de R  $\sim$  1700 y contenidos muy altos de Cl. Los valores de R del río Llobregat durante 1980-1989 son similares a los valores de R de las salmueras de ambos colectores (Tabla 1a y Tabla 4). Una muestra del río Llobregat tomada en el Prat de Llobregat en mayo de 2002, antes de las obras de mejora de conducción del colector de salmueras hasta el mar, indican valores medios de R  $\sim$  1150 y otras relaciones iónicas semejantes a las del colector de salmueras.

Estas condiciones medias generales se ven modificadas por cuestiones derivadas del aporte hídrico del río Llobregat. Durante épocas de estiaje del verano, el río Llobregat presenta caudales pequeños e incluye aguas con origen múltiple de la salinidad (Custodio *et al.*, 1983), quedando más patente el aporte salino procedente de vertidos mineros, industriales y de aguas usadas urbanas que, en conjunto, incrementan el valor de R hasta  $\sim$  1400, al mismo tiempo que aumenta el contenido de Cl. Durante las épocas de caudales altos de primavera y otoño, asociados a lluvias regionales o eventos tormentosos puntuales en el tramo medio-bajo de la cuenca, se observa un descenso del contenido de Cl y del valor de R pasa a  $\sim$  900. El descenso de R se asocia a una mayor dilución de las fuentes de salinidad, producto del mayor aporte relativo de aguas procedentes de la lluvia con valores de R no tan altos (R < 500 en el agua de lluvia de Barcelona; informe nº 5 del proyecto CICYT, HID 1999-0205). Ambos factores deben condicionar una reducción del valor de R del río durante épocas de lluvia del periodo de 1980-1989. Cuando el caudal es muy alto se ha constatado un descenso importante de R acompañado de un aumento del contenido en Cl, tal vez asociado al lavado de escombreras mineras en la cuenca minera (Otero y Soler, 2002) y el mayor aporte hídrico de algunos tributarios al Llobregat como el río Anoia, donde la existencia de importantes afloramientos de rocas evaporíticas hace que sus aguas suelen presentar valores altos de R (se han constatado valores de R  $\sim$  5500 en rezumes mineros muestreados en canteras de yesos de la cuenca del río Anoia).

Durante el periodo de 1997 a 2003 se reproducen las mismas condiciones climáticas y misma evolución del contenido de Cl y valores de R, pero con valores más bajos de ambos, que son levemente superiores a los valores que presenta el acuífero en ese periodo. A pesar de las variaciones temporales y otras condiciones expuestas, existen pocas diferencias de los parámetros hidroquímicos de un periodo a otro. Los valores de rNa/rK, rCl/rSO<sub>4</sub> son muy parecidos (poco variables en el tiempo) lo que permite identificar con facilidad al agua de infiltración del río en el acuífero.

## 2. ACUÍFERO DEL VALLE BAJO DEL LLOBREGAT

### Resultados (Valle Bajo, entre Pallejà y Cornellà)

Las 19 muestras del Valle Bajo corresponden a un muestreo no selectivo realizado por participantes del CIHS (Ondiviela y Nogués, 2001) durante abril-mayo de 2001 (Tabla 1e). Su análisis se ha realizado en el laboratorio del IGME. En el Valle Bajo existen numerosas actividades de tipo industrial, urbano, etc. que modifican el valor de R característico de las aguas del acuífero y que guardan relación con las aguas de infiltración del río Llobregat. El muestreo no persiguió inicialmente caracterizar el valor de R de estos procesos pero el conocimiento existente sobre la hidroquímica de este acuífero permite su interpretación.

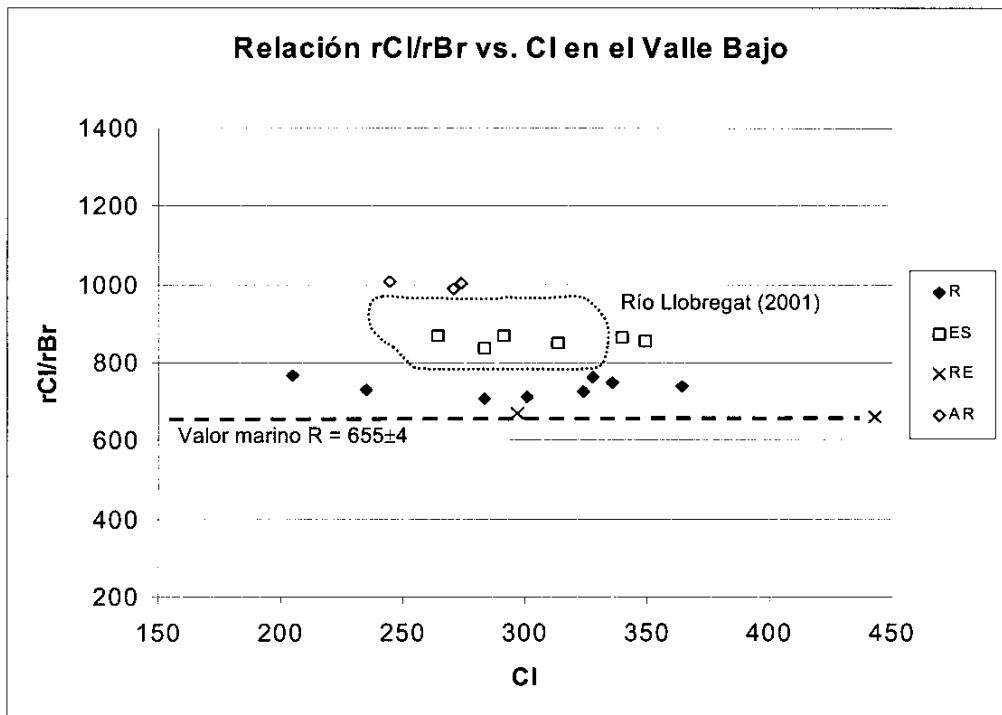


Figura 6.- Representación gráfica de rCl/rBr vs. Cl (mg/L) para el acuífero del Valle Bajo entre Pallejà y Cornellà. Claves: R: Agua de infiltración proveniente del río; ES: Aguas posiblemente afectadas por lavado de escombros enterrados; RE: Agua asociada a aportes laterales; AR: Aguas afectadas por vertidos de aguas residuales. En el recuadro punteado se indica la posición que ocupan las muestras del río Llobregat para el año 2001, con un valor medio de Cl ~ 285 y R ~ 910

Las muestras características del Valle Bajo (R) han dado un valor de  $R = 740 \pm 20$ , las muestras asociadas a aportes de cuencas laterales presentan valores relativamente altos de salinidad y han dado un valor de  $R = 665 \pm 5$  (RE), las muestras interpretadas en estudios previos como afectadas en mayor o menor medida por aguas residuales urbanas (AR) han dado un valor de  $R = 1000 \pm 10$ , y las muestras algo afectadas por lixiviados de antiguas escombreras rellenas de residuos industriales, urbanos, etc.

(ES) presentan valores de salinidad variados y han dado un valor de  $R = 860 \pm 10$  y (Fig. 6). Las aguas del río Llobregat durante el año 2001 presentan valores medios de  $Cl \sim 285$  mg/L;  $R \sim 910$  y  $rNa/rK \sim 8,5$  (Fig. 6 y Fig. 7).

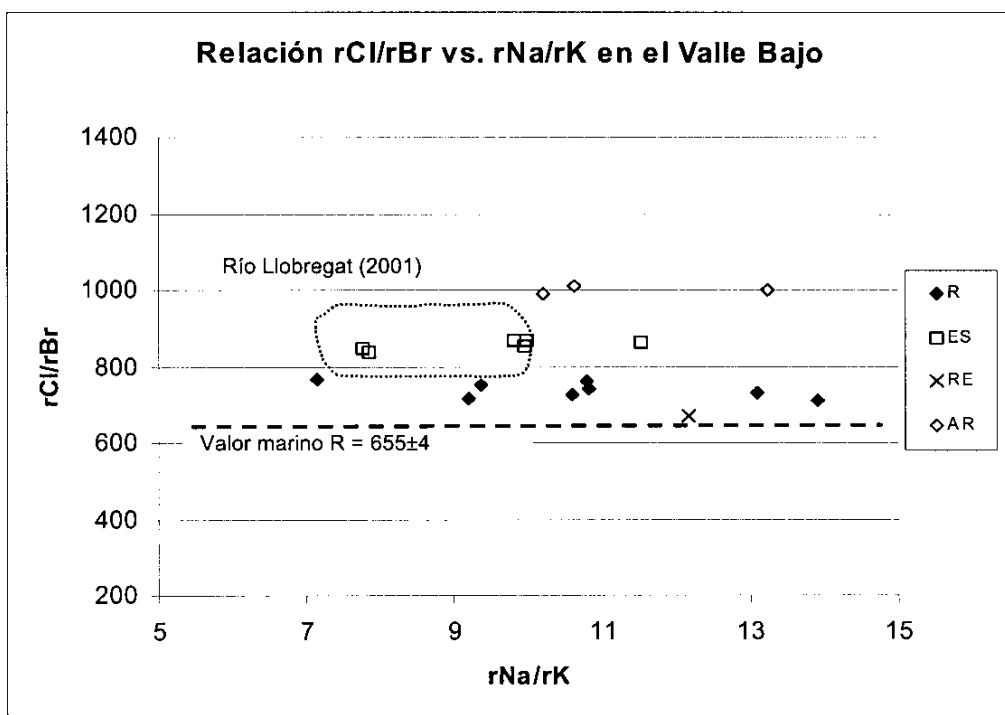


Figura 7.- Representación gráfica de  $rCl/rBr$  vs.  $rNa/rK$  para el acuífero del Valle Bajo entre Pallejà y Cornellà. Claves: R: Agua de infiltración proveniente del río; ES: Aguas posiblemente afectadas por lavado de escombros enterrados; RE: Agua asociada a aportes laterales; AR: Aguas afectadas por vertidos de aguas residuales. En el recuadro punteado se indica la posición que ocupan las muestras del río Llobregat para el año 2001, con un valor medio de  $Cl \sim 285$  mg/L y  $rNa/rK \sim 8,5$

### Discusión (Valle Bajo, entre Pallejà y Cornellà)

Las aguas del río Llobregat constituyen la principal fuente de recarga al acuífero del Valle Bajo, además de las aportaciones laterales y retornos urbanos y principalmente agrícolas. Las muestras clasificadas como características del Valle Bajo (R) presentan valores de  $R = 740 \pm 20$ , algo inferiores al valor de  $R = 910 \pm 60$  del río Llobregat y superiores a los valores de  $R = 655 \pm 5$  del agua de recarga lateral que esta modificada antrópicamente, como indican sus contenidos apreciables en  $PO_4$  y  $NO_3$  (Fig. 6). Los valores de  $rNa/rK$  del río Llobregat oscilan en torno a 8, las aguas típicas del Valle Bajo presentan valores entre 7 y 14, mientras que las atribuidas como pertenecientes a recarga lateral presentan valores entre 12 y 75 (Fig. 7), lo que está asociado a la entrada de aguas con un origen diferente, en unos casos derivada del río mediante canales laterales de riego, y en otros diferente a la del río con contenidos relativos mayores de Na.

Las aguas típicas del Valle Bajo son aguas producto de la mezcla de aguas de infiltración del río Llobregat, aguas provenientes de aportes laterales algo

modificadas antrópicamente y retornos urbanos y agrícolas. Cada tipo de agua es bien conocido, pero el muestreo realizado no ha sido selectivo para poder caracterizar correctamente el valor de R de cada uno de estos tipos de agua. Las aguas del aluvial, principalmente asociadas a la infiltración del río Llobregat, son las más ampliamente representadas en el muestreo y las que presentan valores de R similares al agua del río Llobregat. El resto de muestras presentan porcentajes de mezcla variables de distintas aguas que solo han permitido caracterizar correctamente el valor de R en alguna de ellas que claramente está asociada a uno de los orígenes descritos. Se indica que el agua de lluvia en Barcelona presenta valores de  $R \sim 480$ , producto de las actividades urbanas e industriales de la zona (informe nº 5 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

Las aguas asociadas al lavado de antiguas excavaciones de áridos rellenas con escombros industriales y basuras urbanas (E) suelen presentar contenidos apreciables en algunos metales pesados como B, Ba, Cu, etc. Estas muestras se localizan muy próximas a los márgenes del río Llobregat. Sus valores de  $R = 860 \pm 10$  son muy similares a los obtenidos en el río Llobregat, al igual que sus relaciones  $rNa/rK$  y  $rSO_4/rCl$  (Fig. 6 y Fig. 7). El lixiviado de estas escombreras no parece modificar substancialmente el valor de R ni el contenido de Cl, correspondiendo a las muestras que mejor identifican las aguas de infiltración rápida del río Llobregat durante este periodo.

Las muestras descritas en trabajos previos como afectadas en diferente grado por aguas residuales urbanas (AR) presentan contenidos importantes de  $PO_4$  y  $NO_3$ ,  $rNa/rK > 10$ , valores de  $R \sim 1000$ ,  $rSO_4/rCl \sim 1-2$ . Todos los valores de las relaciones iónicas son superiores a los valores locales del agua de lluvia y los descritos en el río (Fig. 6 y Fig. 7). Las aguas usadas urbanas suelen incorporar halita de uso doméstico, detergentes, etc. que incrementan respectivamente el valor de R y de las relaciones iónicas  $rNa/rK$  y  $rSO_4/rCl$ .

### 3. PIEZÓMETRO P-1 (VALLE BAJO)

#### Resultados: Piezómetro P-1 (Cornellà)

El piezómetro P-1 está situado aguas debajo de los pozos de recarga de Sant Joan Despí, y en la margen izquierda, donde ya se aprecia la influencia de la recarga con excedentes de riego del Canal de la Infanta.

Se tomaron 5 muestras durante febrero y marzo de 1982, y marzo de 1983. Este punto no está afectado por ningún proceso especial que pueda modificar su salinidad y representa el agua característica de salida del Valle Bajo hacia el Delta del Llobregat durante esa época. Se ha obtenido un valor de  $R = 750 \pm 50$  (Fig. 8), inferior al existente en el río durante este periodo ( $R > 1500$ ), pero similar al obtenido para las muestras típicas del Valle Bajo en el muestreo de 2001. El contenido de  $Cl = 540 \pm 20$  mg/L es algo inferior al observado en el río Llobregat para ese periodo, y superior al existente en 2001.

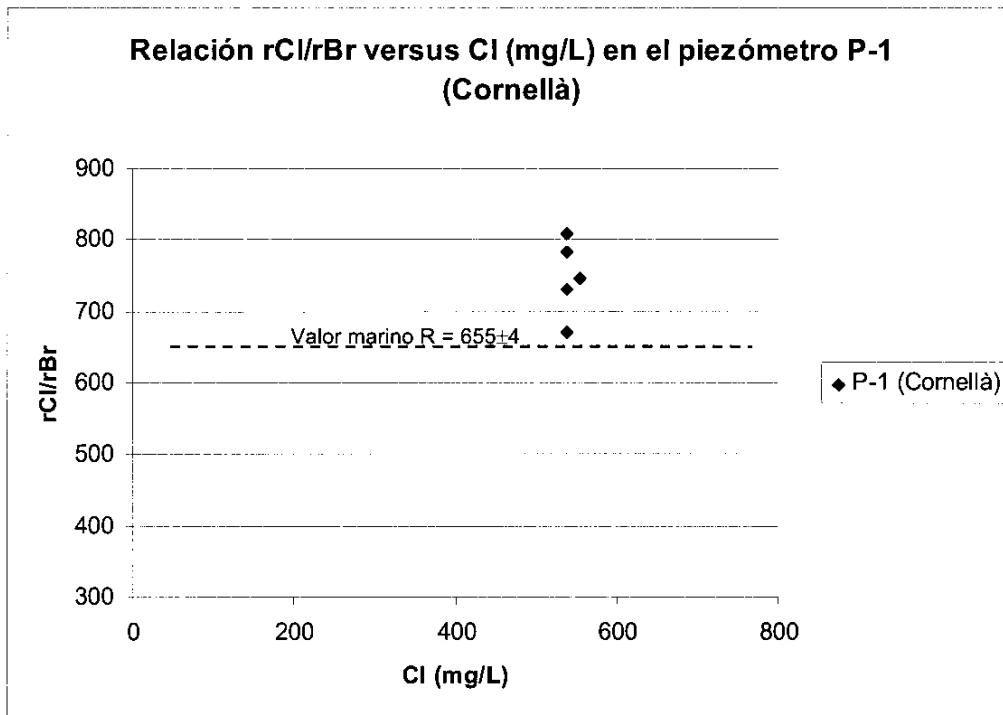


Figura 8.- Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$  (mg/L) para muestras tomadas el Piezómetro P-1, localizado en Cornellà (Valle Bajo)

#### Discusión: Piezómetro P-1 (Cornellà)

Los análisis químicos disponibles de estas muestras las clasifican como típicas del Valle Bajo y no afectadas por procesos modificadores de su salinidad. Presentan valores de  $rNa/rK$  y  $rSO_4/rCl$  similares al resto de muestras del Valle Bajo para esa



época. Su contenido en Cl y su valor de R son algo inferiores al agua del río Llobregat del mismo periodo, ambos aspectos son similares a los descritos para el agua del Valle Bajo de 2001, donde se observa que el acuífero presenta valores de R algo inferiores y contenidos de Cl algo superiores a los del río, lo que puede indicar la influencia de aguas del canal de la Infanta.

#### 4. CUBETA DE SANT ANDREU DE LA BARCA

##### Resultados (Cubeta de Sant Andreu de la Barca)

Se han tomado 4 muestras en la terraza T1 y 10 muestras en la terraza T0 correspondientes a un muestreo no selectivo realizado por participantes del CIHS (Martín y López, 2001) durante 2001 (Tabla 1e). Los criterios de clasificación de muestras han sido los mismos que los utilizados en el Valle Bajo donde existen similares procesos condicionantes de la salinidad de las muestras, aunque la Cubeta de Sant Andreu está más afectada por contaminación antrópica que modifica la salinidad original del principal aporte que es el río Llobregat. Se describen procesos de contaminación por vertidos de aguas residuales urbanas, industriales, actividades agrícolas marginales, etc.

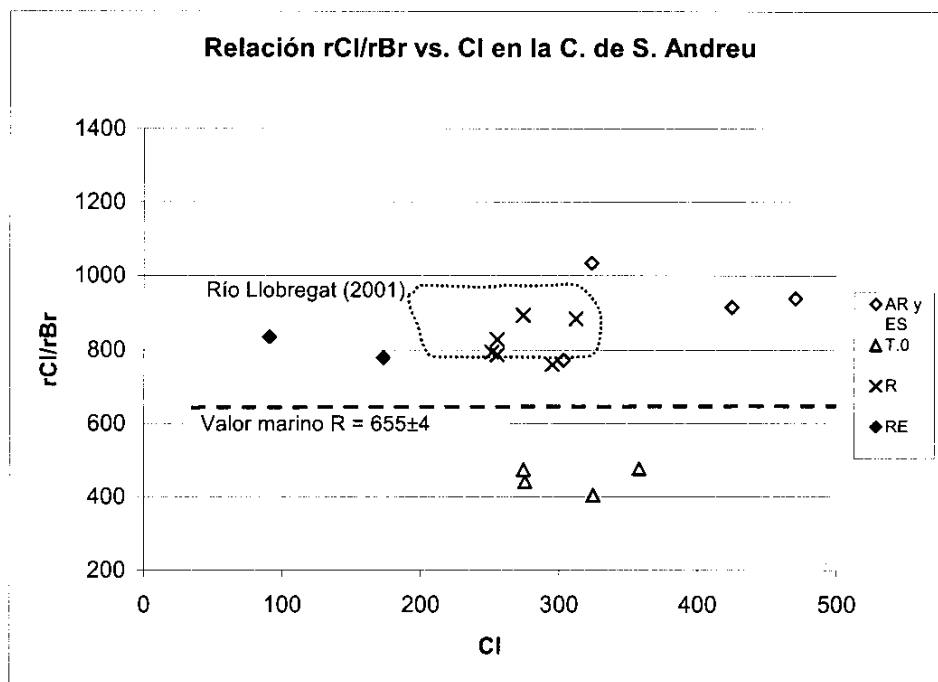


Figura 9.- Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl (mg/L) para las muestras tomadas en la Cubeta de Sant Andreu de la Barca. Claves: R: agua de infiltración proveniente del río; ES: aguas posiblemente afectadas por lavado de escombros enterrados; RE: agua asociada a aportes laterales; AR: aguas afectadas por vertidos de aguas residuales; T.0: aguas de la terraza T.0. En el recuadro punteado se indica la posición que ocupan las muestras del río Llobregat para el año 2001, con un valor medio de Cl ~ 285 mg/L y R ~ 910

Las muestras típicas de la Cubeta de Sant Andreu (R) no afectadas por procesos significativos que modifiquen su salinidad presentan valores de  $R = 810 \pm 50$ ; las muestras asociadas a la recarga lateral desde la terraza T1 (RE) están algo afectadas por vertidos de origen urbano e industrial y tienen un valor de  $R = 805 \pm 40$ ; las muestras algo afectadas por lixiviados desde antiguas excavaciones de áridos

que fueron rellenas con escombros de origen industrial y basuras urbanas con presencia habitual de metales pesados (ES), y muestras afectadas en diferente grado por aguas residuales urbanas (AR), presentan un valor conjunto de  $R = 915 \pm 110$ , aunque en ocasiones se alcanza un valor de  $R \sim 1000$  para las muestras más claramente afectadas por aguas residuales urbanas. Las 4 muestras tomadas en la terraza T.0, aparentemente no afectadas por ningún proceso modificador de su salinidad, presentan valores de  $R \sim 450$ , que posiblemente reflejan la recarga por la lluvia local.

Las aguas del río Llobregat durante el año 2001 han dado valores medios de  $Cl \sim 285$  mg/L;  $R \sim 910$  y  $rNa/rK \sim 8,5$  (Fig. 9 y Fig. 10).

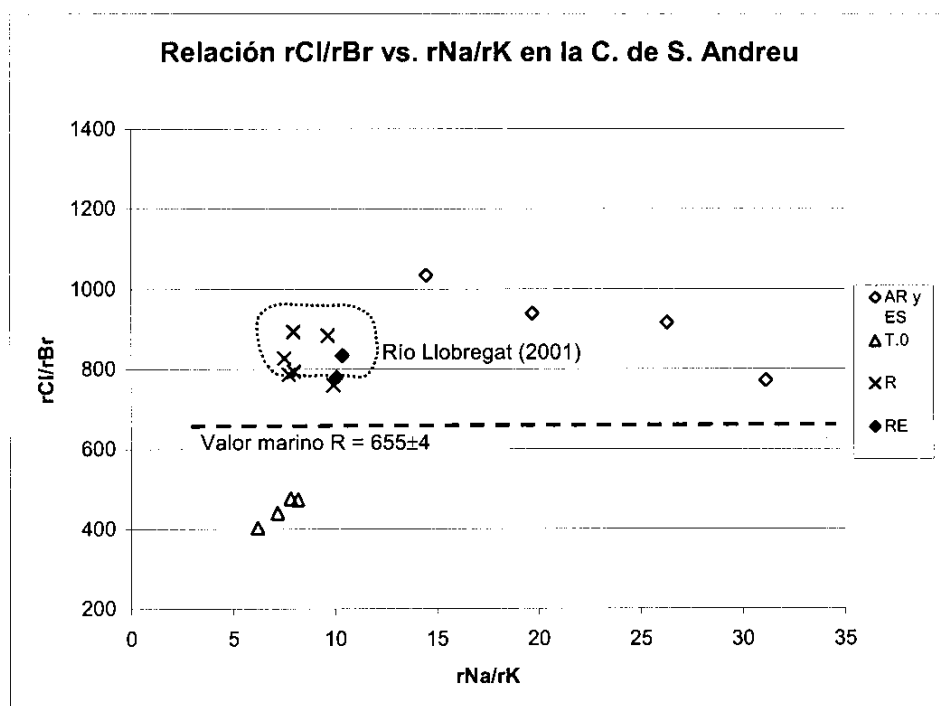


Figura 10.- Representación gráfica la relación  $rCl/rBr$  vs.  $rNa/rK$  para las muestras tomadas en la Cubeta de Sant Andreu de la Barca. Claves: R: agua de infiltración proveniente del río; ES: aguas posiblemente afectadas por lavado de escombros enterrados; RE: agua asociada a aportes laterales; AR: aguas afectadas por vertidos de aguas residuales; T.0: aguas de la terraza T.0. En el recuadro punteado se indica la posición que ocupan las muestras del río Llobregat para el año 2001, con un valor medio de  $Cl \sim 285$  mg/L y  $rNa/rK \sim 8,5$

### Discusión (Cubeta de Sant Andreu de la Barca)

Las muestras típicas de la Cubeta de Sant Andreu no afectadas por procesos significativos que modifiquen su salinidad ( $R$ ) tienen valores de  $R = 810 \pm 50$ , algo inferiores a los que presenta el río Llobregat para este periodo ( $R = 910 \pm 60$ ) y algo superiores a los descritos en el Valle Bajo (Fig. 9). Los valores de  $rNa/rK$  son iguales en ambos casos. Las aguas de recarga lateral asociada a la terraza T1 (RE) están modificadas antrópicamente. Presentan contenidos apreciables de  $NO_3$  asociados a prácticas agrícolas marginales, valores de  $R \sim 800$  y contenidos de  $Cl$  inferiores a los del río a causa del aporte de la lluvia local. Sus valores de  $rNa/rK$  son del mismo

## 5. CONCLUSIONES

El río Llobregat constituye la principal fuente de recarga al sistema acuífero del Valle Bajo y subsistemas asociados como la Cubeta de Sant Andreu. La salinidad del río está bien definida y se ha observado que ha variado con el tiempo, condicionando las características hidroquímicas de las aguas de recarga del acuífero. Durante el periodo de 1980 a 1989 el río presentaba valores de medios de  $R \sim 1400$  y contenidos de  $Cl \sim 620$  mg/L; mientras que en el periodo desde 1997 a 2003 se constata una reducción a valores de  $R \sim 920$  y  $Cl \sim 320$  mg/L. La causa principal son las mejoras realizadas en la canalización del salmueroducto (C. Salmorres) a partir de 1989 desde la cuenca minera potásica a través de la cuenca del Llobregat y la de otros colectores de algunas empresas que utilizan halita pura en sus procesos industriales.

Las variaciones estacionales de salinidad y de los valores de  $R$  durante ambos periodos están relacionadas con las variaciones de caudal del río Llobregat, que condicionan una dilución diferencial de las aguas del río y por tanto de los valores de  $Cl$  y  $R$  del agua de infiltración en el acuífero.

El agua de recarga lateral desde las rieras que tributan al Llobregat está afectada, en diferente grado, por procesos antrópicos (generalmente asociados a la actividad urbana e industrial) y la recarga por lluvia local que presenta valores de  $R < 500$ . Su contenido en  $Cl$  y sus valores de  $R$  son inferiores a los del río, mientras que sus valores de  $rNa/rK$  y su contenido relativo de  $SO_4$  son superiores.

Cuando las aguas de infiltración del río y las aguas de recarga lateral se mezclan en el aluvial cuaternario del Valle Bajo y Cubeta de Sant Andreu se producen aguas con valores de  $R$  y  $rNa/rK$  intermedios entre las aguas del río y las aguas de recarga lateral. Estas muestras representan la mayoría de casos estudiados en ambos acuíferos para el muestreo de 2001. El mayor grado de homogenización química de las aguas en la Cubeta de Sant Andreu, producto de su reducido tamaño, dificulta en ocasiones la observación de este proceso, ya que los valores de  $R$  obtenidos son mucho más homogéneos entre los diferentes grupos de muestras descritos.

El lixiviado de los antiguos escombros industriales y basuras urbanas enterrados en antiguas excavaciones de áridos no aporta una salinidad manifiesta que modifique actualmente los valores de  $R$  y los contenidos de  $Cl$  del agua infiltrada en el aluvial.

La presencia constatada de aguas usadas urbanas muestra valores de  $rNa/rK$  mayores que los del agua de infiltración del río y recarga lateral, y valores de  $R \sim 1000$  también superiores a ambas. La causa está en la presencia de halita de uso industrial o doméstico. Estas muestras suelen presentar contenidos elevados de  $SO_4$ ,  $PO_4$  y  $NO_3$ .

4 muestras tomadas en la terraza T.0 de la Cubeta de Sant Andreu presentan valores de  $R \sim 450$ . Su contenido de  $Cl$ , y relaciones  $rNa/rK$  y  $rSO_4/rCl$  son semejantes a las del río y a las muestras no afectadas por procesos antrópicos del Valle Bajo y Cubeta de Sant Andreu. Con los datos disponibles se apunta la posibilidad que los valores de  $R$  puedan estar asociados a la recarga por la lluvia local.

Acciones:

La zona ha quedado bien caracterizada y no necesita seguir siendo estudiada.

---

Referencias específicas:

- Custodio, E. (1994). Endurecimiento del agua del Valle Bajo del Llobregat por cambios en los procesos de recarga. Análisis y evolución de la contaminación de las aguas subterráneas. Alcalá de Henares. Asoc. Intern. Hidrogeólogos-Grupo Español. II: 123-140.
- Custodio, E., Galofré, A. y Guardiola, J. (1983). Estudio sumario de la contaminación salina del acuífero del Valle Bajo del Llobregat en el entorno de Molins de Rei (Barcelona). *III Simposio de Hidrogeología. Grupo de Trabajo de Hidrogeología A.G.E. Madrid*. Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Vol. III, 495-508.
- HID 1999-0205 (2003). *Caracterización de la deposición total atmosférica de elementos mayoritarios en la ciudad de Barcelona*. Informe nº 5. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 16 pp.
- Iribar, V. 1992. *Evolución hidroquímica e isotópica de los acuíferos del Baix Llobregat*. Tesis Doctoral. 125 págs. Univ. de Barcelona (inédita).
- Martín, S y López, N. (2001). Actualización hidrogeológica de la Cubeta de Sant Andreu (Martorell-Pallejà). XXXV CIHS. FCIHS. Barcelona. 82 pp.
- Ondiviela, M y Nogués, A. (2001). Actualización hidrogeológica de los acuíferos del Valle Bajo del Llobregat (Pallejà-Cornellà). XXXV CIHS. FCIHS. Barcelona. 76 pp.
- Otero, N. y Soler, A. (2002). Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water Research* (en prensa).
- PHPO (1985). *Modelo de simulación de los acuíferos del Bajo Llobregat. Estudios para el Plan Hidrológico del Pirineo Oriental*. Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental. Barcelona.
- SGAB (1992). Estudi de les causes de l'increment de la duresa de l'aigua subterrània a la Vall Baixa del Llobregat. CIHS y DIT-UPC. Barcelona. (3 Vols.). 426 pp.
- Skupián, E. y Marquinez, F. (1995). Estudio de las variaciones en la composición química del acuífero del Valle Bajo del Llobregat (Sant Joan Despí-Pallejà). XXVIII CIHS. FCIHS. Barcelona.
- Solé-Sabaris, L. (1963). Ensayo de interpretación del Cuaternario Barcelonés. *Miscel. Barcelonensia*, t. II. 7-54. Barcelona.
- Subirana, J.M. 1983. *Estudi de la contaminació de les aigües subterrànies del Baix Llobregat*. Tesis de Licenciatura, 152 pp. Univ. de Barcelona (inédita).
-

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**CUENCA MINERA POTÁSICA CATALANA (Barcelona)**

Fecha de muestreo: marzo 1998 - octubre 2001

Muestreador: Neus Otero y Albert Soler (Univ. de Barcelona)

Interpretación: Albert Soler, Neus Otero

Descripción: Albert Soler, Neus Otero, Francisco Javier Alcalá

Comentarios: Neus Otero, Albert Soler, Francisco J. Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: febrero 2003

Organismos 1: IGME

2: Universidad de Barcelona

Objetivos:

- Caracterizar los valores de la relación  $rCl/rBr$  de muestras tomadas en la cuenca minera potásica catalana, asociadas a diferentes fuentes de salinidad naturales y antrópicas.

Características del muestreo: variado (ver en tabla de resultados)

Características del acuífero: El área de estudio se localiza en la parte media de la cuenca del Llobregat donde existen diversas explotaciones mineras de sales cloruradas potásicas en Suria, Cardona, Sallent, etc., y por donde discurren los ríos Cardener, Gavarresa (tributarios del Llobregat) y el propio Llobregat. En esta zona existen diversos afloramientos diapíricos evaporíticos asociados a la cuenca terciaria del Ebro, compuestos por halita, silvita, carnalita y yesos. La presencia de estos afloramientos salinos constituyen una **fuentes natural** de salinidad a las aguas de los ríos y manantiales de la zona (Soler *et al.*, 2002; Otero y Soler, 2002). De forma complementaria, el desarrollo de las actividades mineras produce una salinidad de **origen antrópico** asociada al lixiviado de salmueras provenientes de las escombreras, bien de minas activas como inactivas, que almacenan productos de desecho salino (estériles principalmente de halita) alrededor de las explotaciones, sin ningún tipo de medidas de impermeabilización. Este hecho provoca elevadas concentraciones de cloruros en las aguas de manantiales y arroyos de la zona (Soler *et al.*, 2002). Las actividades extractivas, que implican disolución de sales, también generan una salinidad no natural, pero en esta en cambio interviene principalmente la silvita y/o carnalita. Al Oeste de esta zona se localiza la cuenca del río Anoia, tributario del Llobregat, donde se realizan extracciones de yesos que generan una salinidad asociada a la disolución de estos yesos. Por último, la actividad agraria aporta un tipo de salinidad bien definida mediante estudios isotópicos (Otero y Soler, 2002) que se mezcla de forma difusa con las anteriores. En ocasiones puede constituir una importante fuente de salinidad puntual.

La suma de estos tipos de salinidad se ha venido observando históricamente

en el tramo medio y bajo de la cuenca del Llobregat (Custodio *et al.*, 1983).

Comprobaciones buscadas: Caracterizar el valor de la relación rCl/rBr de cada uno de estos procesos, bien naturales, bien antrópicos, conociendo de antemano su origen, con el apoyo de estudios isotópicos realizados previamente (Otero y Soler, 2002).

Tabla 1. Resultados obtenidos. Todas las muestras han sido tomadas con un recipiente

Muestra	Prov.	Id. Lab.	T. M. / Paraje	Topónimo	Captación	F. Muestreo	Lab.	Muestra diluida			Cl original		Clave
								Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/rBr	Cl (mg/L)	rNa/rK	
1a	B	01/634-10	Balsareny	Escombrera Vilafuns	REZ	abr-99	IGME	40,37	103080	5745	162014	13,1	EM
2a	B	01/634-2	Cardona	Escombrera Cardona	REZ	mar-98	IGME	100,15	98899	2222	176360	5,3	EM
3a	B	01/634-3	Cardona	Rierol Salat	AR	mar-98	IGME	26,14	54765	4714	177809	6,0	EM
3b	B	01/634-17	Cardona	Rierol Salat	AR	jul-97	IGME	50,37	99134	4428	139219	8,6	EM
3c	B	01/634-18	Cardona	Rierol Salat	AR	abr-96	IGME	46,94	93025	4459	160138	6,0	EM
3d	B	01/634-19	Cardona	Rierol Salat	AR	may-96	IGME	51,65	98858	4307	136768	5,7	EM
3e	B	01/634-20	Cardona	Rierol Salat	AR	ago-98	IGME	64,67	101375	3527	189332	4,7	EM
3f	B	01/634-21	Cardona	Rierol Salat	AR	ago-98	IGME	15,31	25817	3794	175297	4,9	EM
4a	B	01/634-24	Sallent	Escombrera Mont salat	REZ	nov-00	IGME	1468,77	209205	320	213031	0,9	EM+SD
4b	B	01/634-25	Sallent	Escombrera La Bojosa	REZ	nov-00	IGME	73,73	172805	5273	189171	18,2	EM
5a	B	01/634-5	Anoia	Gorg Salat, bassa	DEP	mar-98	IGME	0,37	1225	7447	3024	75,2	NH
6a	B	01/634-6	Sta. Mª d'Oió	Rª d'Oió	AR	mar-98	IGME	2,89	8870	6906	19723	143,5	NH
6b	B	01/634-12	Sta. Mª d'Oió	Oió	MAN	abr-99	IGME	3,49	9497	6123	22319	131,0	NH
6c	B	01/634-13	Sta. Mª d'Oió	Oió (1ª sorgència)	MAN	abr-99	IGME	0,62	1903	6905	4084	141,2	NH
6d	B	01/634-14	Sta. Mª d'Oió	Oió (al costat de la A28)	MAN	abr-99	IGME	7,44	22134	6694	23530	306,5	NH
7a	B	01/634-4	Sallent	Sallent, bassa	DEP	mar-98	IGME	306,15	74200	545	109244	1,0	LM
7b	B	01/634-7	Sallent	Sallent, 30 m riu amunt bassa	AR	abr-99	IGME	212,07	67907	720	137355	1,5	LM
7c	B	01/634-8	Sallent	Sallent, riu avall bassa	AR	abr-99	IGME	213,62	60033	632	141319	1,6	LM
7d	B	01/634-9	Sallent	Sallent, bassa	DEP	abr-99	IGME	460,12	110532	541	129933	1,1	LM
7e	B	01/634-23	Sallent	Sallent, bassa	DEP	jun-98	IGME	304,33	67565	500	5568	1,2	LM
7f	B	01/634-16	Sallent	Polligon Sallent	DEP	dic-99	IGME	334,87	90888	611	92922	1,2	LM
7g	B	01/634-26	Sallent	Sallent	REZ	oct-01	IGME	76,07	16597	491	17550	1,3	LM
8a	B	01/634-15	Callús	Callús	REZ	dic-99	IGME	47,91	8175	384	13485	5,0	SD+F
8b	B	01/634-27	Callús	Callús	REZ	oct-01	IGME	102,11	16355	360	17800	5,0	SD+F
9a	B	01/634-1	Súria	Hortons	REZ	mar-98	IGME	5,37	1144	479	4856	63,3	N+K
9b	B	01/634-22	Súria	Riera d'Hortons	AR	jun-98	IGME	6,02	1438	537	75339	72,2	N+K
10a	B	01/634-11	Súria	Brollador vora la C-1410	REZ	abr-99	IGME	11,01	6375	1303	11311	8,5	F

Tabla 2. Claves de captación y caracterización de las muestras

CLAVES CAPTACIÓN		CLAVES MUESTRAS	
Resúme	REZ	Muestras de lixiviados de escombreras mineras antiguas	EM
Manantial	MAN	Muestras de lixiviados de escombreras mineras antiguas	EM
Agua de Río	AR	Muestras naturales que lavan halita pero no carnalita	NH
Depósito o Balsa	DEP	Muestras de lixiviados mineros y de balsas de flotación mineral	LM
		Muestras de lixiviados de balsas de flotación mineral	SD
		Muestras naturales que pueden incluir parte de carnalita	N+K
		Muestra que incluye fertilizantes y halita natural	F

A las muestras aquí presentadas, se les realizó un análisis químico de elementos mayoritarios y composición isotópica. Posteriormente se realizaron dos alícuotas de muestra, una para realizar otras determinaciones en el futuro y otra que fue enviada al Laboratorio del IGME para la determinación de Cl y Br. Esta fracción fue diluida para aumentar el volumen de muestra requerido por el laboratorio y para evitar la posible precipitación de halita que haría desvirtuar los resultados obtenidos. Esta dilución no afecta al valor de la relación rCl/rBr. En la Tabla 1 se indica la concentración de Cl (Cl original) y relación rNa/rK originales de la muestra y la concentración de Cl y Br determinada en el Laboratorio del IGME una vez diluida previamente la muestra (Muestra diluida). En la Tabla 2 se indican las claves de captación y caracterización de las muestras.

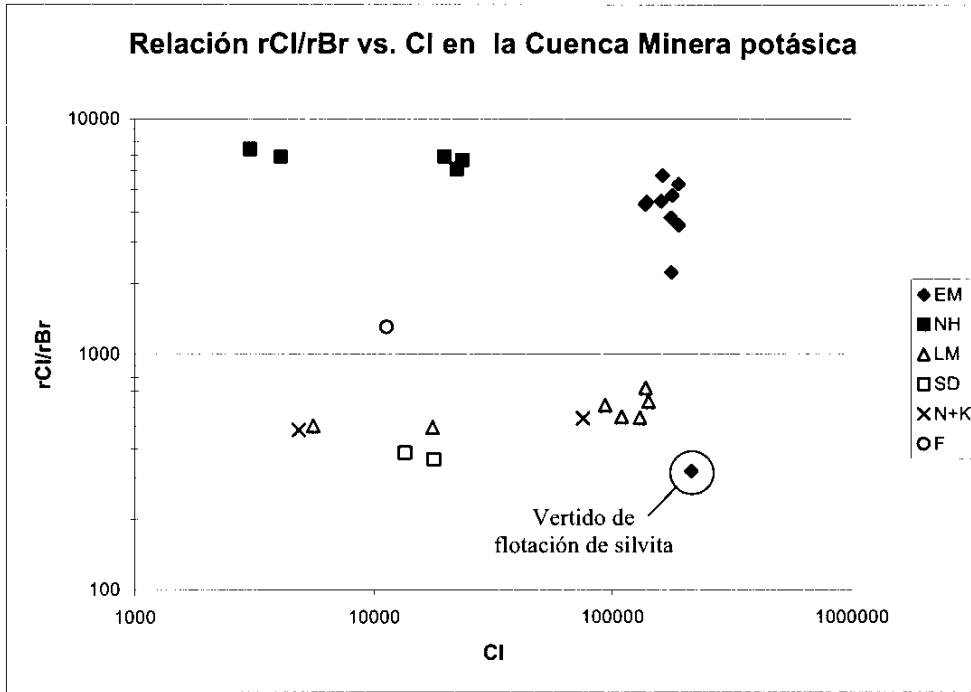


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr respecto a Cl

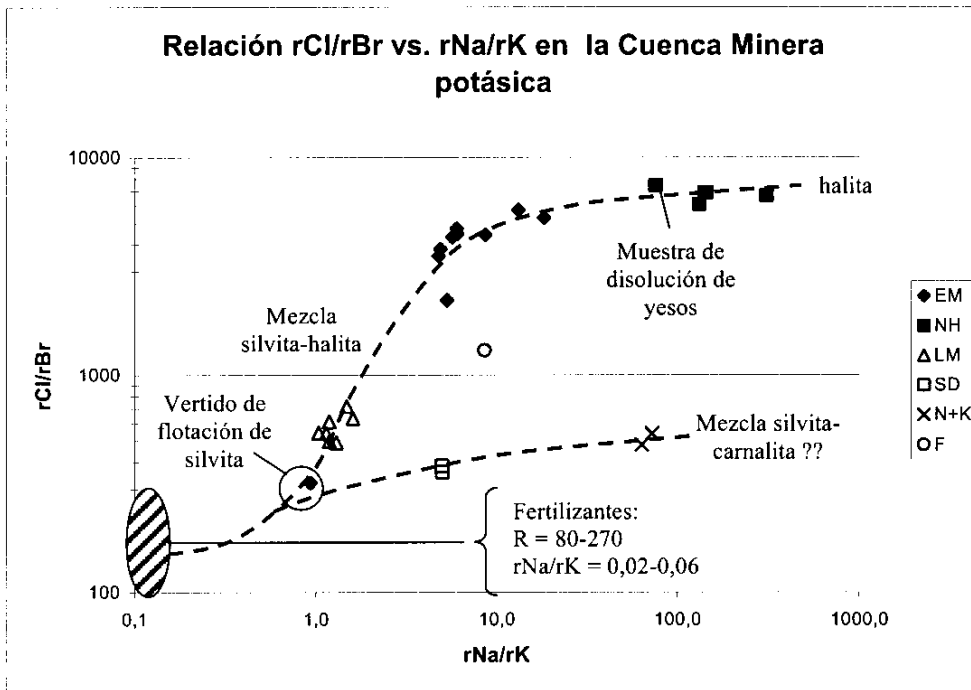


Figura 2. Representación gráfica de la relación rNa/rK respecto a rCl/rBr



## Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios, algunos traza e isotópicos; y localización geográfica de los puntos estudiados.

---

## Resultados:

El muestreo inicial se realizó con el origen de caracterizar diferentes orígenes de la salinidad en la cuenca media del Llobregat mediante el estudio de la composición isotópica de diferentes tipos de aguas salinas que aparecen en la cuenca. Para un mayor detalle sobre la localización geográfica de las muestras, fechas, métodos, etc. se pueden consultar los trabajos de Otero y Soler (2002), y Soler *et al.* (2002).

Un antecedente de interés lo constituye el trabajo de Pueyo y Travería-Cros (1974) que estudiaron la relación Cl/Br de algunas fases cristalinas de la zona minera, proponiendo valores de R en torno a 350 para la silvita, en torno a 4000 para la halita de formación, de unos 5000 para los depósitos de halita en escombreras y valores de R ~ 300 para la carnalita. Los valores obtenidos en este estudio para aguas de rezumes, lixiviados de escombreras y manantiales se corresponden muy bien con dichos valores. Otros datos bibliográficos dan valores de  $rCl/rBr = 100-200$  y  $rNa/rK = 0,02-0,06$  para fertilizantes. En este trabajo no se han estudiado muestras únicamente afectadas por fertilizantes, no pudiendo aportar ningún valor de R al respecto. No obstante las muestras descritas como parcialmente afectadas por la presencia de fertilizantes si presentan valores relativamente más bajos de R (Fig. 1, Fig. 2).

Se ha dispuesto de 27 muestras pertenecientes a manantiales, rezumes mineros, disolución de minerales típicos, etc. de la cuenca minera del curso medio del Llobregat y una muestra de una cantera de yesos de la cuenca del río Anoia. Todas estas muestras pueden ser divididas, según su origen natural o antrópico de la salinidad, en 6 grupos principales que se han representado en los gráficos  $rCl/rBr$  vs. Cl (Fig. 1) y  $rCl/rBr$  vs.  $rNa/rK$  (Fig. 2).

El primer conjunto de muestras incluye los grupos 1, 2, 3 y 4. Corresponden a lixiviados producidos en escombreras mineras y/o muestras de manantiales afectados por estas en la zona próxima al diapiro de Cardona. Muestran muy alto contenido en Cl ( $17,2 \pm 2,3$  g/L) y un valor de  $R = 4274 \pm 1025$ . Estas muestras se asocian al lavado de escombreras compuestas principalmente por halita. Existe una muestra (4a), tomada en la escombrera Mont Salat, que tiene un  $R = 320$  y similar contenido en Cl a las anteriores. Esta muestra en cambio pertenece a un vertido de flotación de silvita.

Las muestras de los grupos 5 y 6 corresponden a lixiviados producidos por lavado de halita natural (de formación) que aflora en los tramos superiores de la formación diapírica salina. En este caso, no existe lixiviado de silvita ni de carnalita. Presentan un contenido en Cl de  $17,4 \pm 9$  g/L y un valor de  $R = 6656 \pm 369$ .

La muestra 5a presenta una salinidad natural asociada a la disolución de yesos oligocenos en la cuenca del río Anoia. Su contenido en Cl es de 3024 mg/L, menor a las anteriores, y su valor de  $R = 7447$ , algo superior al obtenido para el lavado de halita de formación en la cuenca minera.

Las muestras del grupo 7 corresponden a lixiviados provenientes de las

salmueras de flotación durante el proceso de lavado de la sal de producción en planta (salinidad de origen no natural). Se han tomado tanto en las propias balsas como en rezumes próximos a estas. Su contenido en K es muy superior al que existe en las escombreras antiguas ya muy lavadas por la lluvia. Presentan un contenido en Cl de  $90,5 \pm 56,6$  g/L y un valor de  $R = 577 \pm 82$ .

Las muestras del grupo 8 corresponden a muestras tomadas en rezumes que lixivian directamente silvita de planta de producción en el frente de explotación. Presentan un contenido en Cl de  $15,6 \pm 3$  g/L y un valor de  $R = 372 \pm 16$ . Este contenido en Cl y valor de R es similar al encontrado en la muestra 4a.

Las muestras del grupo 9 han sido tomadas en rezumes y agua de una riera que no parecen estar afectadas por una salinidad de origen minero. Su salinidad sería producto de la disolución de silvita y se sospecha que puedan incluir también carnalita. La muestra 9a (rezume) presenta un contenido en Cl de 4,8 g/L y la muestra 9b (riera de Hortons) de 75,3 g/L, aspecto asociado a la diferente dilución de ambas. Sus valores de R son respectivamente de 479 y 500.

La muestra 10a está asociada al lavado de halita de formación. En ella fue descrita la presencia de fertilizantes mediante estudios isotópicos. Presenta un contenido en Cl de 11,3 g/L y un valor de  $R = 1303$ . No se descarta que la salinidad también pudiera estar debida en parte a la disolución de carnalita.

---

#### Discusión:

Los resultados de R de los grupos de muestras estudiadas permiten su diferenciación en cuanto al origen conocido de su salinidad. Sin embargo estas muestras están sometidas a diferentes grados de dilución que condicionan contenidos muy variables de Cl de muestras con un mismo origen. Este motivo hace que la representación de estos grupos de muestras en un gráfico del tipo  $rCl/rBr$  vs. Cl disperse los resultados para muestras comunes (Fig. 1). Por ello es conveniente recordar que el origen de esta minería se centra en la extracción de sales cloruradas potásicas, que en ella existe una clara abundancia de halita y presencia de yesos, fertilizantes, etc. En definitiva, que presentan diferentes cantidades de Na y K que permiten identificar fácilmente, y sin problemas de dilución de Cl, el origen de su salinidad. El gráfico  $rCl/rBr$  vs.  $rNa/rK$  realizado con este propósito sí muestra estas diferencias entre los grupos de muestreo realizados (Fig. 2).

Las muestras pertenecientes a lixiviados de escombreras de minas no activas actualmente lixivian aguas que incluyen fundamentalmente halita y muy poca silvita. Presentan valores de  $rNa/rK$  entre 5 y 20, dependiendo del grado de lavado de las muestras y un valor de  $R = 4274 \pm 1025$ . El valor de R y  $rNa/rK$  de cada muestra responde de forma adecuada a la cantidad de halita y silvita disuelta existente en cada muestra. Dentro de este grupo aparece la muestra 4a que pertenece a una escombrera activa cuyo lixiviado corresponde principalmente a silvita. Presenta un valor de  $R = 320$  y de  $rNa/rK = 0,9$ , muy diferente al que presentan las escombreras antiguas que ya han sido muy lavadas e incluyen principalmente halita. El valor de R de esta muestra es muy similar al valor propuesto por Pueyo y Travería-Cros (1974) para cristales de silvita de Sallent estudiados mediante Fluorescencia de R-X.

Las muestras pertenecientes a aguas que lavan halita natural, perteneciente al tramo salino más alto de la serie estratigráfica y sometido a menor

evapoconcentración durante su formación, presentan los valores más elevados de  $rNa/rK$  (entre 75 y 300) y de  $R$  ( $6656 \pm 369$ ), que es algo superior a los valores de  $R$  de cristales de halita obtenidos por Pueyo y Travería-Cros (1974) a partir de su estudio mediante Fluorescencia de R-X. Esta halita suele ser muy pura y no incluye silvita ni carnalita.

Una muestra asociada a la disolución natural de yesos lacustres oligocenos (terciarios), cuyo origen es la disolución y precipitación de yesos triásicos, presenta un valor de  $rNa/rK$  algo inferior al de las muestras anteriores, un contenido de Cl menor y un valor de  $R$  mayor (7447).

Las muestras asociadas a balsas de flotación en plantas de producción o a lixiviados de vertidos de las mismas presentan un valor de  $R = 577 \pm 82$ . En los estudios isotópicos no se pudo diferenciar entre estas muestras y muestras asociadas a lixiviado de escombreras activas con abundante silvita. La relación  $rNa/rK$  tampoco ayuda a distinguirlas al presentar ambas similar composición salina potásica. En cambio la relación  $rCl/rBr$  si lo permite diferenciar, al presentar las segundas valores de  $R$  entre 360 y 380, similares a los obtenidos por Pueyo y Travería-Cros (1974) para cristales de silvita.

La salinidad de la muestra 10a ha sido descrita como producto de la acción de fertilizantes y de salinidad natural asociada al lavado de halita. Presenta valores de  $rNa/rK$  similares al grupo de muestras pertenecientes a lixiviados de escombreras de antiguas minas (en torno a 8,5), pero en cambio su valor de  $R$  es inferior ( $\sim 1300$ ), aunque no tanto como en las muestras típicamente afectadas por fertilizantes que incluyen sales potásicas que presentan valores de  $R$  semejantes a los obtenidos para fluidos de flotación de mineral en planta. En este estudio no ha sido posible identificar el efecto que los fertilizantes producen en el valor de  $R$ .

El grupo 9 presenta valores de  $rNa/rK$  entre 60 y 70 y valores de  $R$  en torno a 500. Se sospecha que estas muestras presentan una salinidad asociada al lavado de halita natural y carnalita; sospecha que recae en la existencia de afloramientos de carnalita muy próximos al lugar de muestreo y que el valor de  $R$  de estas muestras sea de 6-7 veces inferior al obtenido para las muestras provenientes del lavado de escombreras antiguas. Según Kühn (1968) la relación existente entre  $Br_{halita}$  y  $Br_{carnalita}$  es de 1:7. Este aspecto es de interés ya que permitiría distinguir si el valor de  $R$  obtenido está asociado a la disolución única de carnalita o si por el contrario es producto de la mezcla entre lixiviados de silvita y halita, con presencia de fertilizantes.

Una vez representadas las muestras en el gráfico  $rNa/rK$  vs.  $rCl/rBr$  (Fig. 2) se observa que las muestras adquieren una tendencia de mezcla de haluros entre términos de halita pura de origen natural y de silvita (curva 1). Existe una segunda curva que puede ser interpretada como la mezcla entre silvita y carnalita, o bien entre silvita y carnalita+halita natural, aspecto aún por estudiar. A pesar de ello se tiene constancia de la presencia de carnalita. La primera ha quedado contrastada en estudios isotópicos anteriores y en este trabajo mediante el estudio de  $R$ . La segunda es por ahora una hipótesis que habrá que comprobar.

---

#### Conclusiones:

Se ha caracterizado el valor de  $R$  para diversas muestras tomadas en la

cuenca minera potásica catalana asociadas al lavado de haluros de origen natural y minero. Los lixiviados de halita natural muy pura han dado valores de R en torno a 6600. Los lixiviados de escombreras mineras antiguas que lavan principalmente halita y cantidades mínimas de silvita han dado un valor de R en torno a 4300. Los lixiviados de escombreras de minas activas lavan principalmente la escasa silvita existente, dando la única muestra estudiada (4a) un valor de R = 320. Las muestras que incluyen vertido de flotación de silvita en planta, que incluyen mayoritariamente silvita y otros haluros, han dado un valor de R en torno a 570. Las muestras asociadas únicamente al lixiviado de basas de flotación han dado un valor de R entre 360 y 380. Una muestra que lava yesos oligocenos de la cuenca del río Anoia presenta un valor de R de 7447. Un grupo de muestras que parecen estar afectadas principalmente por el lavado de carnalitas y en menor medida de silvita y halita han dado un valor de R en torno a 500.

---

#### Acciones:

Una vez caracterizado el valor de R de las muestras estudiadas, queda por comprobar si el valor de R de algunas de ellas es debido al lavado de carnalita.

---

#### Referencias específicas:

- Custodio, E., Galofré, A. y Guardiola, J. (1983). Estudio sumario de la contaminación salina del acuífero del Valle Bajo del Llobregat en el entorno de Molins de Rei (Barcelona). *In.: III Simposio de Hidrogeología*. VIII: 495-508. Madrid.
- Kühn, R. (1968). Geochemistry of the German potash deposits. *Saline deposits G. S. A. Special Paper*, 88, 427 pp.
- Otero, N. y Soler, A. (2002). Sulphur isotopes as tracers of the influence of potash mining in groundwater salinisation in the Llobregat Basin (NE Spain). *Water Research*, 36: 3989-4000.
- Pueyo Mur, J.J. y Travería-Cros, A. (1974). Determinación de la salinidad, mediante la relación Br/Cl, en sales de la cuenca minera potásica catalana (Sallent, Barcelona, España). *Acta Geol. Hispánica*, IX(3): 114-115.
- Soler A, Canals A, Goldstein S.L., Otero N, Antich N, Spangerberg J. (2002). Sulfur and strontium isotope composition of Llobregat River (NE Spain): tracers of natural and anthropogenic chemicals in stream waters. *Water Air Soil Pollution*, 136, 207-224.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFEROS DE LA SEGARRA Y L'URGELL (Lleida)**

Fecha de muestreo: aparecen en la Tabla 1 de resultados

Muestreador: Doménech Artigués (2), Josep Lluís Saletó (2)

Descripción: Manel Pascual (2), Francisco Javier Alcalá (1)

Comentarios: Francisco Javier Alcalá, Manel Pascual

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Manel Pascual, Emilio Custodio (1),

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: octubre 2003

Organismos 1: IGME

2: ACA (Agència Catalana de l'Aigua)

Objetivos:

- Conocidas las líneas generales sobre el origen de la salinidad en el acuífero de la Segarra-Urgell, además de otros procesos naturales y antrópicos que afectan su hidroquímica; se ha caracterizado el valor de la relación  $rCl/rBr$  (R) de unas muestras tomadas en este acuífero.

Características del muestreo: se indican de forma detallada en la Tabla 1.

Características del acuífero:

El acuífero Segarra-Urgell, denominado así por extenderse por ambas comarcas leridanas, está formado por un paquete calizo que puede alcanzar los 60 m de potencia. Corresponde a un acuífero clásico entre 2 capas de menor permeabilidad. Las calizas se han denominado "Calizas de Tárrega" (Bayó y Alom, 1983), que son de edad Oligoceno. Pertenecen a la depresión central catalana, como extremo NE de la cuenca terciaria del Ebro. Son calizas tableadas cuya permeabilidad es producto de la fracturación y procesos de carstificación que tienen lugar en las zonas de discontinuidad.

El conjunto de la formación acuífera se extiende unos 250 km<sup>2</sup> en su área proximal, siendo poco conocido en su zona distal (Pascual y Bayó, 1991). Incluye un sector de acuífero libre periférico (~ 20 % de la superficie total) que constituye el área de recarga directa que está formada por relieves calizos denominados Cuestas de Vicfred-Pujalt-La Panadella. El resto de la superficie (~ 80 % del total) corresponde a un acuífero con diferente grado de confinamiento. Hacia el Sur. Las calizas pasan lateralmente a facies margocalizas y yesos, y hacia el W y SW a margas impermeables con yesos y haluros (Pascual y Bayó, 1991).

El flujo de aguas subterráneas en condiciones naturales es desde la zona de recarga hacia las zonas de descarga, constituidas por sistemas aluviales cuaternarios encajados en el impermeable superior a cota lo suficientemente baja como para actuar como drenaje del sistema subterráneo. Las principales

zonas de descarga son los aluviales cuaternarios de los ríos Sió, Ondara y Corb, ordenados de más proximal a más distal respecto a la zona de recarga. Los interfluvios constituyen zonas de tránsito regionales donde es posible el desarrollo de flujos locales. El sistema fluvial es de origen tectónico, con fallas según las cuales se produce la descarga del sistema. La salinidad aumenta desde la zona de recarga hacia las zonas de descarga por el lavado progresivo de sales de los tramos margosos.

En la zona se describen aluviales cuaternarios de no más de 20 m de espesor, alimentados por la descarga regional o la recarga directa (Pascual y Bayó, 1991). Las aguas de estos aluviales suelen presentar contaminación puntual por nitratos de origen agrícola (fertilizantes) y ganadero (filtraciones de purines), además de cierto efecto antrópico por aguas residuales urbanas.

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de la relación rCl/rBr (R) en muestras cuyos procesos hidroquímicos generales y génesis de la salinidad son conocidos.

Tabla 1.- Resultados. Todas las muestras han sido tomadas en pozos la red de control de calidad de la ACA durante bombeo entre abril y mayo de 2002. Han sido analizadas en el Laboratorio del IGME

Orden	Clave Muestra	Ident. Lab.	T. Munic. / Paraje	F.M.	F.A.	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/rBr	Ac. Cap.	Sist. F.	O. Sal.
1	Ruidovelles	02/261-01	Ruidovelles	abr-may-02	05-jul-02	1,833	728	893	CT	TS	E
2	Omells	02/261-02	Els Omells da na Gaia	abr-may-02	05-jul-02	0,125	80	1436	CT	DC	C
3	S. Martí de Malda-2	02/261-03	S. Martí de Malda	abr-may-02	05-jul-02	0,291	250	1934	CT	DC	N
4	Aranyo	02/261-04	L'Aranyo (Cervera)	abr-may-02	05-jul-02	0,378	116	690	Q	CU	N
5	Comabella	02/261-05	Comabella	abr-may-02	05-jul-02	0,272	48	396	CT	R	N
6	Vergós	02/261-06	Vergós (Cervera)	abr-may-02	05-jul-02	0,272	117	964	CT	DC	N
7	Guimerà	02/261-07	Guimerà	abr-may-02	05-jul-02	0,274	427	3509	CT	DC	N
8	Sr. Aines	02/261-08	Sant Aines	abr-may-02	05-jul-02	0,255	82	726	CT	TN	N
9	Canós	02/261-09	El Canós (Cervera)	abr-may-02	05-jul-02	0,436	181	931	CT	TC	N
10	Palamós	02/261-10	Palamós (Sant Grim)	abr-may-02	05-jul-02	0,138	36	583	CT	R-TN	N
11	S. Ramón	02/261-11	Sant Ramón	abr-may-02	05-jul-02	0,193	44	510	CT	R-TN	N
12	Ciutadilla	02/261-12	Ciutadilla	abr-may-02	05-jul-02	0,215	256	2674	CT	DC	C
13	Belianes	02/261-13	Belianes	abr-may-02	05-jul-02	0,328	102	699	Q	CU	N
14	Vengós N-II	02/261-14	Vergós (Cervera)	abr-may-02	05-jul-02	0,233	145	1397	CT	DO	C
15	Antolí	02/261-15	Sant Antolí	abr-may-02	05-jul-02	0,223	111	1123	CT	OO	C
16	Civit	02/261-16	Civit (Talavera)	abr-may-02	05-jul-02	0,151	42	620	CT	R-TN	N
17	Granyena de Segarra	02/261-17	Granyena de Segarra	abr-may-02	05-jul-02	0,312	111	803	CT	TN	N
18	Montornés	02/261-18	Montornés de Segarra	abr-may-02	05-jul-02	0,216	58	599	Q	CU	N
19	Concabella	02/261-19	Concabella	abr-may-02	05-jul-02	0,414	169	918	CT	DS	N

F.M.=Fecha de muestreo  
F.A.=Fecha de análisis  
Ac. Cap.=acuifero captado  
Sist. F.=sistema de flujo  
O. Sal.=origen de la salinidad

Tabla 2.- Claves para caracterizar las muestras  
CLAVES PARA ACOMPAÑAR A CADA MUESTRA DEL ESTUDIO CL/BR

Profundidad	Ac. Captado	Sist. Flujo	O. Salinidad
S - Somero (indicar prof)	CT - Calizas de Tárrega	R - Recarga	N - Natural
I - Intermedio (indicar prof)	Q - Aluviales cuaternarios	TN - Tránsito norte	C - Contaminada
P - Profundo (indicar prof)		TC - Tránsito centro	E - Evaporación
? - Indefinido		TS - Tránsito sur	
		DS - Descarga río Sió	
		DO - Descarga río Ondara	
		DC - Descarga río Corb	
		CU - Aluvial cuaternario	

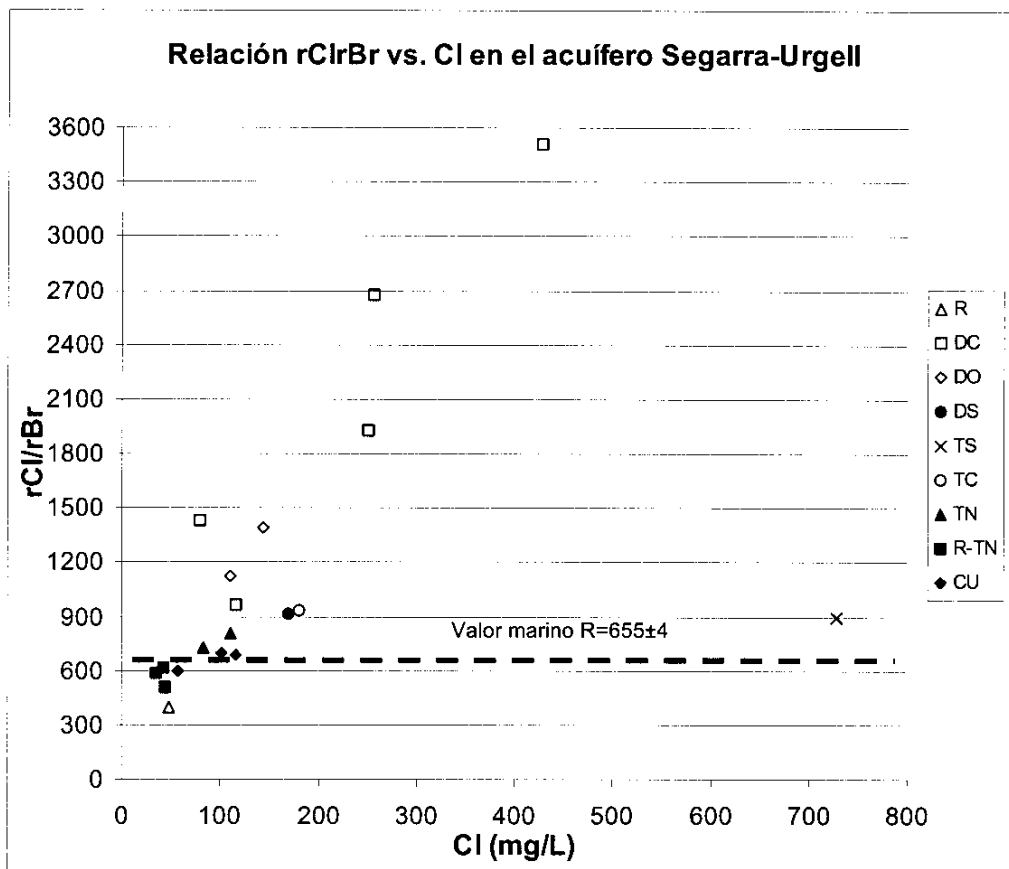


Figura 1.- Representación de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$  se las muestras estudiadas. La leyenda de claves indicada en el gráfico para cada muestra corresponde a la asignada a cada muestra en la Tabla 1, según la clasificación indicada en la Tabla 2

Otros datos y gráficas:

La red de control de calidad de la ACA ha facilitado los análisis químicos de elementos mayoritarios de las muestras de los pozos estudiados.

---

Resultados:

El muestreo se ha realizado en un conjunto de pozos que captan las Calizas de Tárrega en zonas de recarga, tránsito y descarga. Algunas muestras se han tomado en aluviales cuaternarios localizados entre los interfluvios principales o en las zonas de conos de deyección laterales.

La clasificación de muestras se ha realizado inicialmente por tipo de acuífero captado (Tabla 1) y posteriormente, en las Calizas de Tárrega, en función a la distribución de flujo subterráneo y a la ganancia de salinidad por tiempo de permanencia del agua en el acuífero. Las claves asignadas aparecen en la Tabla 2 y su representación en la Figura 1.

Calizas de Tárrega:

La muestra 5 se ha tomado en la zona de recarga (R); presenta un valor de R ~ 400 para un contenido de Cl ~ 50 mg/L (Tabla 1).

La zona de descarga regional corresponde a las zonas próximas a los aluviales de los ríos Sió (muestra 19), Ondara (muestras 6, 14 y 15) y Corb (muestras 2, 3, 7 y 12), ordenados de más proximal a más distal. Respectivamente se han obtenido valores de R ~ 900, R ~ 950-1400 y R ~ 1500-3500, para contenidos de Cl de ~ 170 mg/L, ~ 110-150 mg/L y 80-430 mg/L (Tabla 1).

Los interfluvios entre los ríos anteriores corresponden a zonas de tránsito que se han denominado respectivamente zonas de tránsito norte (muestras 8 y 17 entre la zona de recarga y el río Sió), central (muestra 9 entre el río Sió y río Ondara) y sur (muestra 1 entre el río Ondara y Corb). Los valores de R son respectivamente de R ~ 720-800, R ~ 930 y R ~ 900, para contenidos de Cl de ~ 80-110 mg/L, 180 mg/L y ~ 730 mg/L (Tabla 1).

Las muestras 10, 11 y 16, tomadas entre la zona de recarga y la zona de tránsito norte presentan valores de R ~ 510-620 para contenidos de Cl de ~ 35-40 mg/L (Tabla 1).

Aluviales y conos de deyección cuaternarios:

Incluye las muestras 4, 18 para aluviales pequeños localizados en los interfluvios principales y la muestra 13 para un cono de deyección lateral (Tabla 1). Todas ellas presentan valores de R entre 600 y 700 para contenidos de Cl variables entre 60 y 110 mg/L. Son muestras que, además de la salinidad derivada del lavado de restos de sales evaporíticas incluidas en la descarga regional, incluyen agua de recarga local menos salina y posiblemente con efectos antrópicos.

---

Discusión:

Se distingue una zona de flujo principal que comienza en la zona de recarga y va descargando en los valles principales (Fig. 2). Esta zona de flujo produce un aumento de la salinidad que lleva asociado un aumento del valor de R desde la zona de recarga (R ~ 400), valor de R similar a la deposición total estudiada en diversas zonas de interior peninsular (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205), hasta valores de R ~ 1500-3500 en la zona de descarga más distal (río Corb) y con más tiempo de residencia del agua en el acuífero (Fig. 2). Es posible que las muestras más salinas de las zonas de descarga se asocien, al menos parcialmente, a procesos hidrotermales asociados a la existencia de fallas regionales. En el área se conocen algunas manifestaciones de aguas calientes. Entre las dos situaciones comentadas existe toda una gama de valores de R que deben ser producto del diferente lavado de sales función del tiempo de residencia, desde R ~ 500-600 en zonas próximas a la zona de recarga, R ~ 900 en la zona de descarga del río Sió y R ~ 950-1400 en la zona de descarga del río Ondara (Fig. 2).

En las zonas de tránsito (interfluvios) se observa que la salinidad es similar, aunque con tendencia a un leve aumento desde zonas proximales a zonas distales (Fig. 2), con valores de R ~ 700-800 en la zona norte, R ~ 930 en la central y R ~ 900 en la zona sur. Estos valores están afectados por condiciones de flujo local en cada interfluvio (Fig. 2), cuya relación con el sistema de flujo regional parece ser limitada. En general son valores de R más homogéneos que pueden estar condicionados en parte por la recarga difusa local.



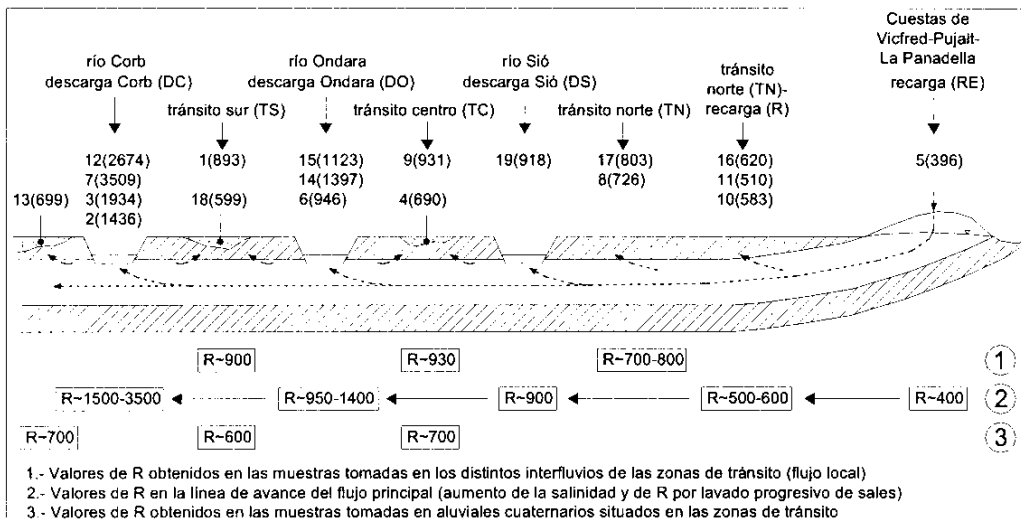


Figura 2. Esquema general simplificado de funcionamiento hidrogeológico del acuífero Segarra-Urgell, tomado y modificado de Pascual y Bayó (1991). Se indican las principales líneas de flujo regional, flujos locales y otros menores como aluviales cuaternarios. En rayado se indican las zonas impermeables y en punteado los aluviales cuaternarios. Se incluyen los valores de R de las muestras clasificadas por zonas de muestreo. La orientación del corte es W-E y la orientación de valles de ríos y aluviales indicados es perpendicular a la figura

Las muestras tomadas en los aluviales cuaternarios entre interfluvios principales y conos de deyección (Fig. 2) presentan valores de R ~ 600-700 (Fig. 1) y cantidades variables de Cl, que son función de la cantidad relativa de agua de descarga asociada al flujo regional y al agua de recarga local existente en cada punto.

Las modificaciones antrópicas no parecen modificar substancialmente este esquema general de funcionamiento. No obstante, las muestras 14 y 15 de la zona de descarga del río Ondara y las muestras 2 y 12 de la zona de descarga del río Corb pudieran estar afectadas por aguas residuales urbanas ya que se constatan vertidos próximos en la zona de muestreo.

La muestra 1, con R~ 900 y Cl = 728 mg/L (Tabla 1), puede estar afectada por procesos de evaporación en sistemas algo aislados que reconcentrarían el contenido de Cl y Br, manteniendo constante el valor de R respecto del resto de muestras tomadas en los interfluvios, que también presentan valores de R ~ 900 pero concentraciones de Cl muy inferiores.

Una vez interpretado el sistema, se observa que la distribución de salinidades y valores de R de las muestras estudiadas es función del aumento de salinidad. Se interpreta como una disolución progresiva de sales, principalmente haluros presentes en los tramos margosos.

Se ha establecido una curva de incorporación salina entre el agua de recarga (R) (muestra 5) y las aguas más salinas (Fig. 1) (muestra 7), por la sucesiva adición de halita al agua. El resto de muestras estudiadas, con mayor o menor influencia del agua de recarga o adición de sales, quedarían entre ambas muestras.

Los contenidos iniciales de  $Cl = 35 \text{ mg/L}$  y  $R = 400$  del agua de recarga regional (muestra 5) se denotan respectivamente como  $Cl_0$  y  $R_0$ . Este agua original corresponde a una condición donde  $R_0 = \alpha(Cl_0/Br_0)$ , y en la que  $\alpha =$  factor para  $r = \text{meq/L} = 79,9/35,5 \approx 2,25$ .

La cantidad de halita incorporada incrementa el contenido en  $Cl$  del agua y modifica el valor de  $R_0$ .  $X =$  cantidad de halita añadida a 1 L de agua (se desprecia el cambio de densidad en una primera aproximación). La halita, además de  $Cl$ , incluye una proporción de  $Br$ ; la fracción ponderal de  $Br$  en la halita se denomina  $1/\beta$ . El contenido esperable de  $Cl$ ,  $Br$  y valor de  $R$  en una nueva agua se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$Cl = \frac{Cl_0 + X}{1}; \quad Br = \frac{Br_0 + X}{1}; \quad R = \alpha \frac{Cl_0 + X}{Br_0 + \beta X}$$

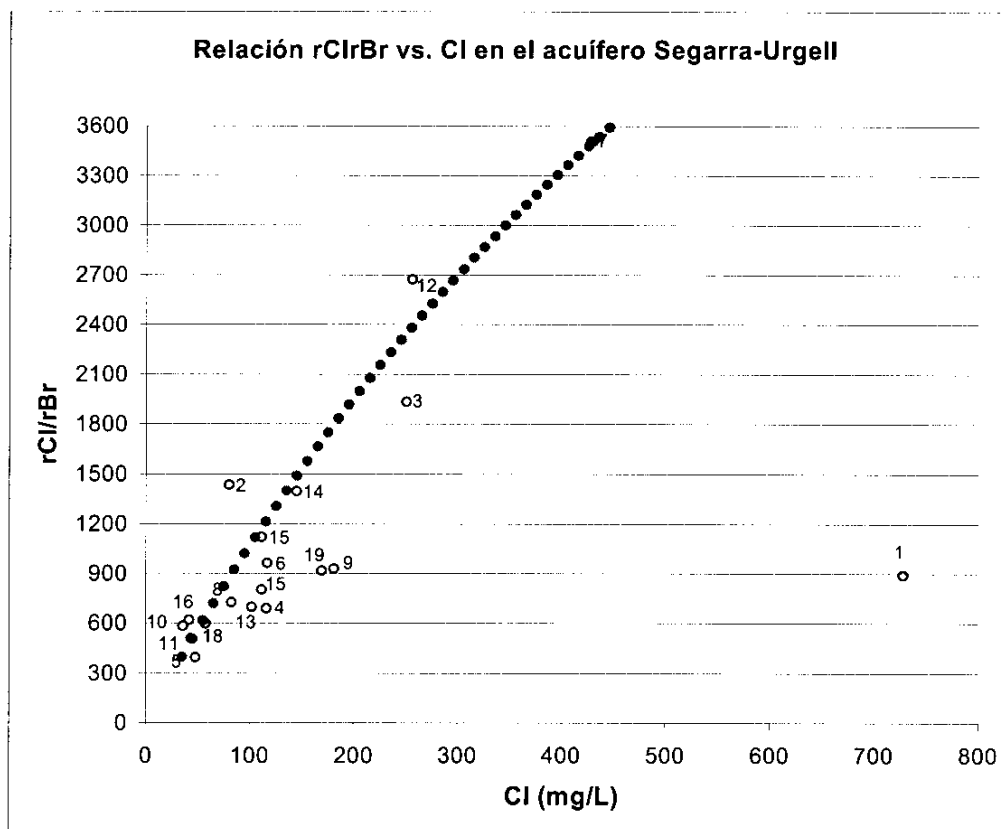


Figura 3.- Curva de incorporación salina, por la sucesiva adición de halita, entre el agua de recarga ( $R$ ) y las aguas más salinas de descarga distal ( $DC$ )

La representación de  $R$  vs.  $Cl$  en un gráfico asignando valores de  $X$  desde 0 hasta 430 mg/L, hasta alcanzar un contenido de 430 mg/L de  $Cl$  correspondiente a la muestra más rica en halita aparece en la Figura 1. Para esta condición se ha obtenido por tanteo un valor de  $1/\beta = 5010$ . El trazado de la curva obtenida ( $R/Cl$ ; Fig. 3) se corresponde bien con las muestras encontradas.

El valor molar de  $1/\beta$  es superior al valor obtenido para la muestra más salina ( $R \sim 3510$ ), lo que es esperable ya que estas muestras no tienen por que

ser las más salinas de todas las existentes en la zona aunque se acercan bastante a este valor teórico.

Las muestras 14 y 15 de la zona de descarga del río Ondara y las muestras 2 y 12 de la zona de descarga del río Corb pudieran estar afectadas por aguas residuales urbanas ya que se constatan vertidos próximos en la zona de muestreo. Sus valores de R se alejan ligeramente de la curva de incorporación de halita (Fig. 3).

---

#### Conclusiones:

La salinidad general se interpreta como un tiempo de residencia del agua en el acuífero, lo que afecta al lavado difusivo progresivo de halita presente en los sedimentos.

El proceso progresivo de incremento de sales por disolución de halita y yeso, principalmente, que se produce en las aguas subterráneas en su transcurso desde las zonas de recarga hacia las de descarga implica un incremento del contenido de Cl y de la relación  $rCl/rBr$  hacia valores de 5500. Se han detectado algunos puntos de agua con un contenido de la relación intermedio entre las aguas más características de la zona de recarga con las aguas con mayor contenido en sales, como todas aquellas situadas en zonas de descarga más próximas a la zona de recarga, interfluvios principales y aguas de aluviales cuaternarios que incorporan una fracción importante de agua de recarga directa.

---

#### Acciones:

La zona ha quedado caracterizada y no necesita seguir siendo estudiada.

---

#### Referencias específicas:

- Bayó, A. y Alom, A. (1983). Estudio de los recursos hidráulicos totales de la comarca de la Segarra. *Servicio Geológico de Obras Públicas*. MOPU (interno).
- HID 1999-0205 (2003). *Estudio de la deposición total atmosférica obtenida en la red de muestreo del IGME en diversas zonas de España*. Informe nº 4. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 43 pp.
- Pascual, M. (1990). Hidrogeoquímica del macizo carbonatado de Garraf: Análisis de los procesos relacionados con la mezcla de aguas subterráneas dulces y saladas en el litoral de Calafell-Bellvei (Tarragona). Tesis Doctoral. DIT-Univ. Pol. de Catalunya. 260 pp.
- Pascual, M. y Bayó, A. (1991). La sobreexplotación del acuífero de Vicfred-Guisona (Lérida). Posibilidades de recuperación con aguas superficiales del canal de Urgell. En: *XXIII Congreso de la AIH, Sobreexplotación de acuíferos*. Puerto de la Cruz (Tenerife). 235-239.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLOGICO DE LA RELACION Cl/Br

Lugar de ensayo:

**LOS MONEGROS (Zaragoza y Huesca)**

Fecha de muestreo: mayo 2001

Muestreador: Miguel Ángel García Vera

Interpretación: Miguel Ángel García Vera

Comentarios: Miguel Ángel García Vera, Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: octubre 2003

Organismos 1: Confederación Hidrográfica del Ebro

2: IGME

Objetivos:

- Determinar los valores de la relación  $rCl/rBr$  de algunas muestras tomadas en este acuífero, asociadas a la disolución de evaporitas terciarias en una cuenca endorréica.

Características del muestreo: Muestreo mediante tomamuestras manual.

Características del acuífero:

La Geología de la zona de los Monegros está caracterizada por la presencia de varias secuencias sedimentarias de materiales pelíticos (principalmente margosos) que alternan con paquetes de yesos seleníticos y matriz arcillosa con escaso ordenamiento interno e intercalaciones de calizas lacustres mas o menos continuas dentro de la matriz arcillosa que confieren los relieves de la zona. La cuenca queda rellena por depósitos continentales cuaternarios (Sánchez *et al.*, 1999).

Se ha estudiado la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago, donde aparecen dos paquetes sedimentarios limitados por dos capas pelíticas con un ligero buzamiento al norte y noroeste que conforman dos acuíferos individuales en detalle; que quedan ubicados dentro de un sistema acuífero general con posible conexión entre ambos (Fig. 1). La escasa permeabilidad de los materiales ha justificado en numerosos trabajos el poder agrupar los dos acuíferos en un sistema conjunto (García Vera, 1996).

Las litologías y propiedades hidrogeológicas básicas de ambos acuíferos son similares y los pozos son poco profundos. Aparecen cuerpos lagunares estacionales de poca extensión denominados localmente "Playas" que están ligados a la disolución de yesos seleníticos (procesos kársticos) en esta área endorréica (Sánchez Navarro *et al.*, 1989). Estas lagunas se desarrollan

principalmente en el paquete sedimentario inferior aunque también existe alguna en el paquete superior. En estos ambientes dominan los procesos de evaporación por lo que una vez que aparecen las lluvias se producen rápidamente salmueras que van incrementando su concentración salina hasta que precipitan las sales (Blas *et al.*, 2000).

También son importantes los procesos de disolución de sales evaporíticas, principalmente en los tramos más superficiales de ambas unidades acuíferas. Existe una zona superficial de permeabilidad entre  $10$  y  $10^{-1}$  m/d, y una zona más profunda con valores del orden de  $10^{-3}$  m/d (García Vera, 1996). Sus consecuencias son una mayor circulación hídrica en los tramos superiores del acuífero, respecto a los inferiores, donde el agua es más antigua.

Los tramos superiores presentan salinidades que oscilan entre 2 y 7 g/L. Esta salinidad se incrementa conforme mayor es el tiempo de residencia en el acuífero. La salinidad de los tramos inferiores es mucho más variable que la de los tramos superiores debido, probablemente, a la variabilidad espacial de la composición mineralógica de estos tramos y al elevado tiempo de residencia del agua subterránea.

Es escasa el agua de pozos que tenga una salinidad menor a 2 g/L, aunque tengan mucha entrada de agua de escorrentía superficial, aspecto que se atribuye a que en el momento en que el agua de lluvia toca el suelo disuelve los yesos llegando al equilibrio en este mineral, que aporta este valor de salinidad (García-Vera, 1996).

El agua de recarga actual circula por los tramos superiores (a pocos metros de profundidad) debido al aumento de permeabilidad por disolución de las litologías. Hacia las zonas más profundas los tiempos de residencia son mayores lo que parece implicar un mayor contenido en sales (puesto que se han lavado menos) y unas mayores salinidades.

Comprobaciones buscadas: Observar los valores de la relación  $rCl/rBr$  de las muestras estudiadas.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Las muestras han sido tomadas en sondeos puntuales de poca profundidad (hasta 20 m) ranurados en toda su longitud mediante tomamuestras sumergibles salvo las tres últimas muestras que pertenecen a agua de río tomada con un recipiente. Se indica la profundidad a la que se tomó la muestra

Ident. Lab.	Prov	T. M. / Paraje	Topónimo	F. Muestreo	Lab	Prof. (m)	F. Análisis	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	rCl/rBr	Origen	Proceso	
01/299-01	HU	Valfarta	602	09-may-01	IGME	5,5	29-may-01	2,75	1411	1154	b.2	ARI	
01/299-02	HU	Valfarta	602	09-may-01	IGME	11,5	29-may-01	14,15	33897	5390	a	H	
01/299-03	Z	Sástago	603	09-may-01	IGME	15,5	29-may-01	4,62	2665	1298	b.1	ARI	
01/299-04	Z	Sástago	605	09-may-01	IGME	15,5	29-may-01	3,09	2572	1873	b.1	ARI	
01/299-05	Z	Sástago	606	09-may-01	IGME	11	29-may-01	3,35	6102	4098	b.1	AZ2	
01/299-06	Z	Sástago	608	09-may-01	IGME	11	29-may-01	3,57	1406	887	b.1	ARI	
01/299-07	Z	Sástago	608	09-may-01	IGME	17	29-may-01	5,51	8294	3387	b.1	AZ2	
01/299-08	Z	Sástago	612	10-may-01	IGME	3	29-may-01	21,07	51214	5469	b.1	H	
01/299-09	Z	Sástago	612	10-may-01	IGME	11	29-may-01	35,55	84137	5325	a	H	
01/299-10	Z	Sástago	618	09-may-01	IGME	15	29-may-01	2,05	1483	1628	b.1	AZ2	
01/299-11	Z	Bujaraloz	619	10-may-01	IGME	10	29-may-01	1,90	1361	1612	b.2	AZ1	
01/299-12	Z	Sástago	621	10-may-01	IGME	12,5	29-may-01	1,89	921	1096	b.2	AZ1	
01/299-13	Z	Bujaraloz	624	09-may-01	IGME	10,5	29-may-01	14,20	3200	507	b.2	AC	
01/299-14	Z	Bujaraloz	625	09-may-01	IGME	11	29-may-01	10,09	2388	533	b.2	AC	
01/299-15	Z	Bujaraloz	631	09-may-01	IGME	7	29-may-01	3,76	2363	1414	b.2	ARI	
01/299-16	Z	Bujaraloz	632	09-may-01	IGME	11	29-may-01	10,82	3133	652	b.2	AC	
01/299-17	HU	Peñalba	Valcuerna Peñalba	10-may-01	IGME		29-may-01	1,88	1052	1259		Río	D
01/299-18	HU	Peñalba	Vai Cardosa Peñalba	10-may-01	IGME		29-may-01	2,78	2355	1906		Río	D
01/299-19	HU	Peñalba	Est. Aforo Valcuerna	10-may-01	IGME		29-may-01	2,07	1650	1793		Río	D

<b>Claves de Origen</b>		<b>Claves de Proceso</b>	
Río	Aguas superficiales tomadas en ríos y arroyos de la zona Este	AZ1	Agua característica de la zona endorréica (alto contenido en Mg)
a	Aguas de muestras muy salinas	AZ2	Agua característica de la zona occidental (bajo contenido en Mg)
b.1	Aguas del sector occidental pobres en Mg	ARI	Agua de recarga influenciada por el uso agrícola del suelo
b.2	Aguas típicas de las zonas ricas en Mg	AC	Agua de circulación superficial
		D	Drenaje regional por los arroyos de la zona Este
		H	Lavado de halita de formación

Tabla 2. Resultados isotópicos de las muestras estudiadas, todas ellas tomadas en sondeos con tomamuestras sumergible, y laboratorio donde se ha realizado la determinación

Prov.	T. M. / Paraje	Topónimo	F. Muestreo	$\delta^{18}\text{O}$ Cedex	$\delta^2\text{H}$ Cedex	rCl/rBr IGME
HU	Valfarta	602	09-may-01	-6,148	-43,75	1154
HU	Valfarta	602	09-may-01	-6,574	-44,62	5390
Z	Sástago	603	09-may-01	-6,915	-45,22	1298
Z	Sástago	605	09-may-01	-6,404	-42,44	1873
Z	Sástago	606	09-may-01	-7,362	-53,26	4098
Z	Sástago	608	09-may-01	-6,064	-40,03	887
Z	Sástago	608	09-may-01	-6,277	-43,23	3387
Z	Sástago	612	10-may-01	-4,891	-38,19	5469
Z	Sástago	612	10-may-01	-5,021	-37,88	5325
Z	Sástago	618	09-may-01	-5,489	-36,31	1628
Z	Bujaraloz	619	10-may-01	-6,468	-40,081	1612
Z	Sástago	621	10-may-01	-6,702	-47,33	1096
Z	Bujaraloz	624	09-may-01	-7,447	-47,63	507
Z	Bujaraloz	625	09-may-01	-6,489	-46,52	533
Z	Bujaraloz	631	09-may-01	-6,872	-48,67	1414
Z	Bujaraloz	632	09-may-01	-5,509	-38,19	652

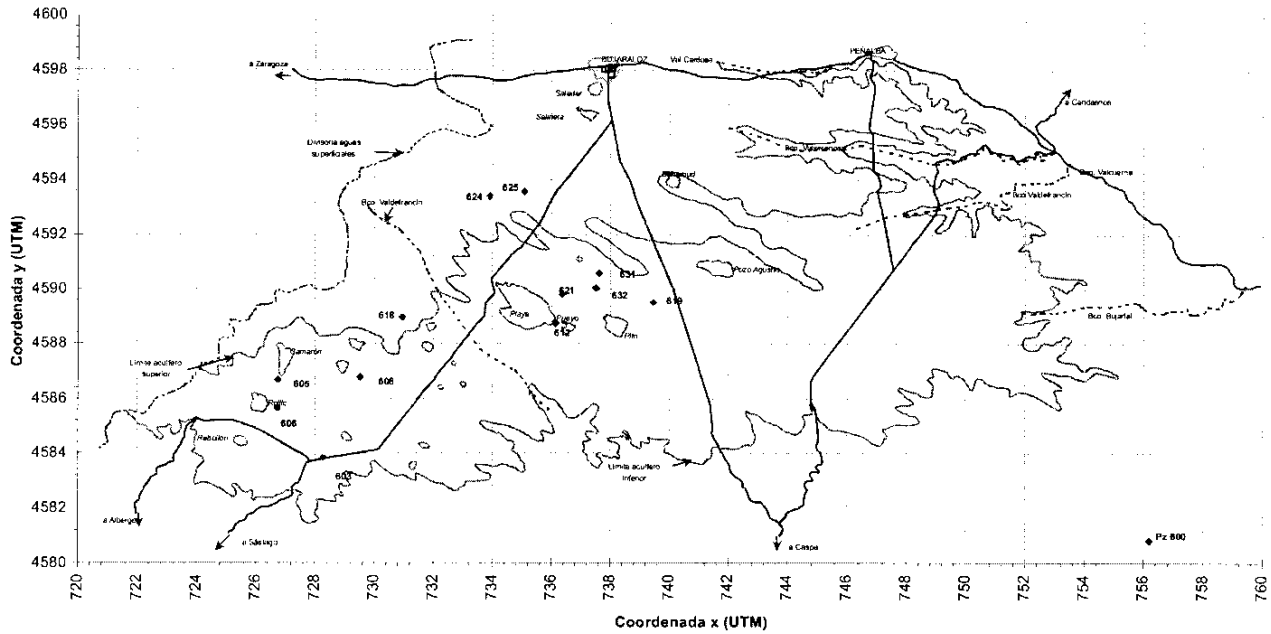


Figura 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo incluidos en este trabajo

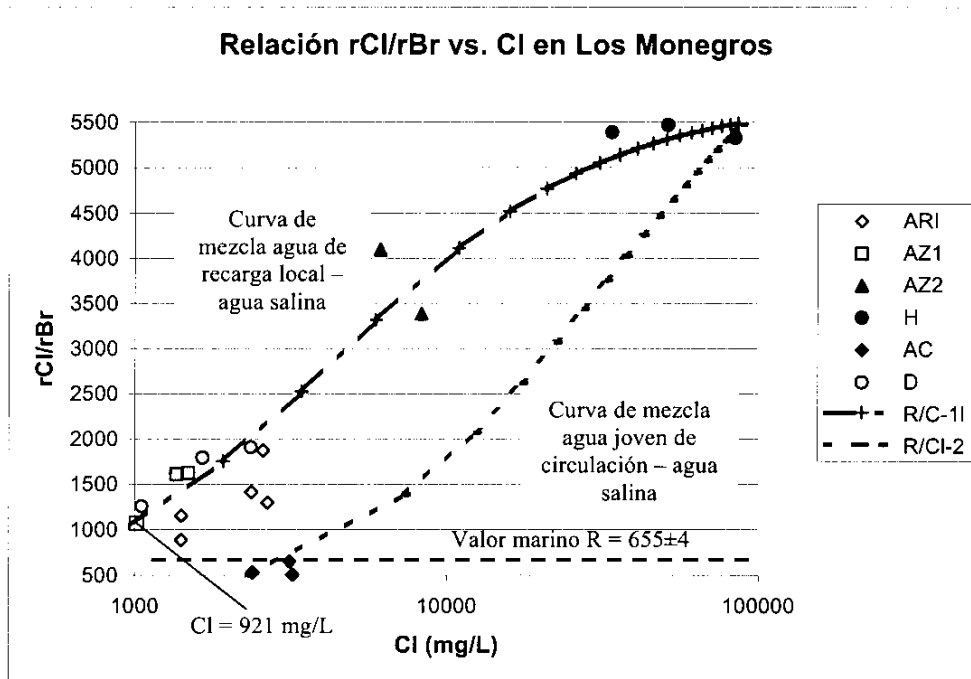


Figura 2. Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$ . Se indica la curva de mezcla entre las aguas de recarga locales con contenidos altos de  $Mg$  (AZ1) y las aguas más salinas (H); y agua joven de circulación superficial que no disuelve halita (AC) y las aguas más salinas (H)

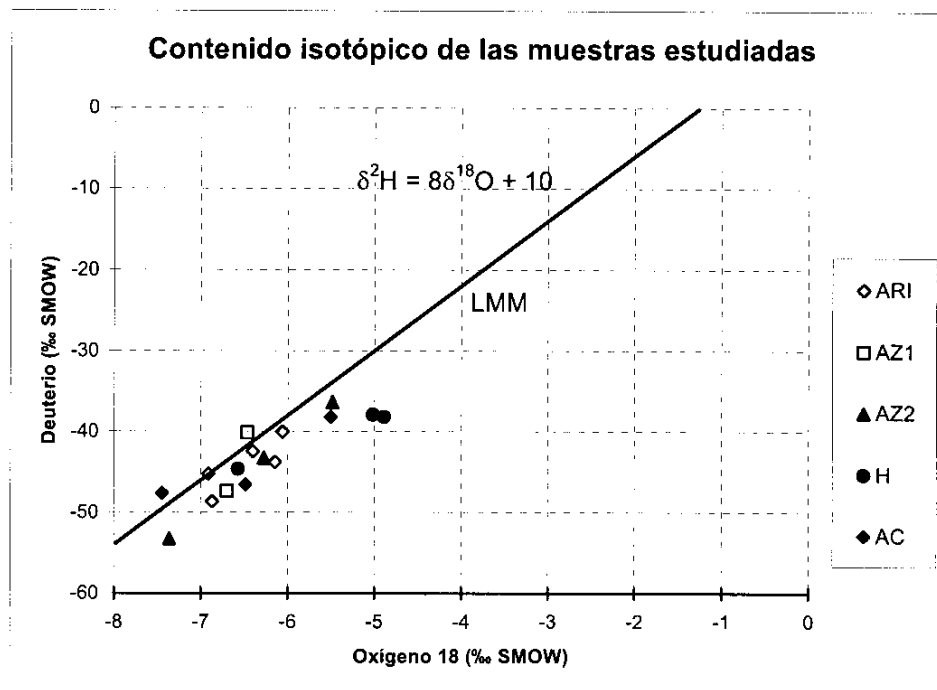


Figura 3. Contenido isotópico para las muestras estudiadas en este trabajo

Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis de elementos mayoritarios, minoritarios, contenido isotópico ambiental ( $\delta^2\text{H}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ); al igual que un inventario de puntos de muestreo y un buen conocimiento de las características geográficas, geológicas e hidrogeológicas de la zona.

---

Resultados:

Se han tomado 15 muestras en diferentes sondeos de la zona endorreica de Bujaraloz-Sástago (Tabla 1), pertenecientes a los sistemas acuíferos superior e inferior (Fig. 2). La zona superior del acuífero presenta mayor permeabilidad, mayor circulación hídrica y menor salinidad.

En el acuífero superior se ha muestreado en un sondeo afectado por la zona regable de Valfarta (602) que presenta una salinidad elevada entre 8 y 70 g/L. En los alrededores de este sondeo se comenzó a regar en 1995. No se dispone de una evolución temporal de la calidad química de este sondeo que indique si está afectado por una dilución causada por agua de uso agrícola aunque las elevadas salinidades registradas parecen indicar que este proceso en la actualidad no es representativo. En el acuífero superior se ha muestreado en otros dos sondeos situados en el sector noroeste de la plataforma endorreica (624 y 625).

En el tramo lutítico que separa el acuífero superior e inferior se ha tomado una muestra en el sondeo 618.



En el acuífero inferior se ha tomado una muestra en sondeos situados en el sector sudoeste (603, 605, 606 y 608), en un sondeo situado en la proximidad de la laguna de la Playa (612) y en sondeos situados en el interfluvio entre las lagunas de la Playa y del Pozo Agustín (621, 631, 632 y 619).

Se ha realizado una clasificación inicial de muestras en función del origen natural de la salinidad que indica la existencia de muestras muy salinas, principalmente por el lavado de halita del medio (a), muestras características de la zona endorreica ricas en Mg, principalmente por lavado de magnesita (b.2), y muestras con menor contenido en Mg provenientes de la zona occidental donde la fuente de Mg es la dolomita (b.1). También se han tomado varias muestras de agua superficial de varios arroyos de la zona Este (Río).

Por tanto, en la zona pueden establecerse varios orígenes de la salinidad netos y toda una gama de posibles mezclas, pudiendo describir los siguientes tipos de salinidad identificados como sigue:

- AZ1: Agua característica de la zona endorreica que no está afectada por procesos mayoritarios de disolución de halita ni afección antrópica y con alto contenido en Mg. Presenta un contenido en Cl de 1000-1400 mg/L y tiene un valor de  $R = 1445 \pm 300$ .

- AZ2: Agua característica de la zona occidental afectada por procesos de disolución de halita, sin afección antrópica y con menor contenido en Mg. Presenta un contenido en Cl de 6000-8000 mg/L y tiene un valor de  $R = 3740 \pm 500$ .

- ARI: Agua de recarga influenciada por usos agrícolas del suelo (principalmente abonado orgánico), como manifiestan sus contenidos apreciables en  $\text{NO}_3$ . Presenta un contenido en Cl entre 1400-2600 mg/L y tiene un valor de  $R = 1325 \pm 360$ .

- AC: Agua de circulación por los tramos superficiales del acuífero, más permeables y menos salinos. Se trata de agua joven no afectada de forma visible por procesos antrópicos. Su contenido en Cl es de 2400-3200 mg/L y un valor de  $R = 560 \pm 75$ .

- D: Agua superficial tomada en varios arroyos de la zona este que representan las aguas de descarga locales, por tanto con cierta influencia agrícola local y aguas arriba. Tienen contenidos de Cl de 1000-2200 mg/L y un valor de  $R = 1650 \pm 340$ .

- H: Agua cuya salinidad es de origen natural y ligada a la disolución de halita de formación. Presenta altos contenidos de Cl entre 33 y 88 g/L, dependiendo del grado de dilución de la muestra, y un valor de  $R = 5400 \pm 70$ .

---

#### Discusión:

Los estudios isotópicos sugieren que el origen de la salinidad de las muestras analizadas es más por lixiviación que por evaporación de las aguas (Tabla 2). No obstante en las muestras del punto 612, donde es habitual la presencia de halita durante periodos de desecación, se observa cierta tendencia a la evaporación, pero poco importante (Fig. 3).

Una vez descartados los procesos de evaporación como la causa del origen mayoritario de la salinidad de las muestras se observa que los valores de R se

relacionan con la disolución progresiva de halita de los sedimentos pelíticos (García Vera, 1996). Los procesos químicos que justifican la composición química de las aguas de las muestras analizadas son la disolución de calcita y yeso, y la disolución progresiva de magnesita y/o dolomita y halita. Puede existir agua externa que modifique dichos procesos.

El agua característica que circula por los niveles superiores de la zona endorreica (AZ1) parece estar ligeramente afectada por el uso agrícola del suelo; que presentan valores de R entre 1000 y 1800 y contenidos en Cl entre 1000 y 2500 mg/L.

Las aguas cuya salinidad es producto de la disolución de halita de formación (H) presentan contenidos en Cl variables según su dilución pero superiores a 33 g/L. Sus valores de R son los más altos encontrados y están en torno a 5400.

Las aguas de dos sondeos situados en la zona occidental y más salinos que los que les rodean presentan signos de lavado de halita (AZ2). Estas aguas presentan una salinidad intermedia entre el primer grupo de muestras y las muestras que lavan halita de formación, contenidos en Cl de 6-8 g/L y valores de R ~ 3700.

El último grupo lo constituye un conjunto de muestras cuyo contenido en Cl está entre 2500 y 3300 mg/L y tienen un valor de R ~ 560 (AC). Estas aguas son someras y parecen estar algo afectadas por procesos antrópicos que modifiquen su salinidad. El contenido en tritio indica aguas recientes y no parecen estar relacionadas con el lavado de halita.

Se ha establecido una curva de disolución salina entre un grupo de muestras compuestas endorreicas no afectadas por modificaciones antrópicas y las aguas salinas (Fig. 1). Esta curva es producto de la sucesiva adición de halita al agua. Las aguas de circulación superficial de la zona occidental quedarían entre ambos tipos de aguas. Las aguas de circulación superficial modernas (AC) no parecen estar relacionadas con esta curva de adición de halita.

Los contenidos iniciales de Cl = 0,92 g/L y R = 1000 del agua de recarga endorreica se denotan respectivamente como Cl<sub>0</sub> y R<sub>0</sub>. Este agua original corresponde a una condición donde R<sub>0</sub> = α(Cl<sub>0</sub>/Br<sub>0</sub>), y en la que α = factor para r = meq/L = 79,9/35,5 ≈ 2,25.

La cantidad aportada de halita incrementa el contenido en Cl del agua y modifica el valor de R<sub>0</sub>. X = cantidad de halita añadida a 1 L de agua (se desprecia el cambio de densidad en una primera aproximación). La halita, además de Cl, incluye una proporción de Br; la fracción ponderal de Br en la halita se denomina 1/β.

El contenido esperable de Cl, Br y valor de R en una nueva agua se obtiene a partir de las siguientes expresiones:

$$Cl = \frac{Cl_0 + X}{1}; \quad Br = \frac{Br_0 + X}{1}; \quad R = \alpha \frac{Cl_0 + X}{Br_0 + \beta X}$$

La representación de R vs. Cl en un gráfico asignando valores de X desde 0 hasta 85 g/L, hasta alcanzar un contenido de 85 g/L de Cl correspondiente a la muestra más rica en halita aparece en la Figura 1. Para esta condición se ha obtenido por tanteo un valor de  $1/\beta = 2560$  (5760 molar).

En la zona se han descrito dos tipos de agua fuente:

- La primera corresponde al agua de recarga expresada anteriormente en la que  $Cl_0 = 0,92$  g/L y  $R_0 = 1000$ ;  $Br_0 = \alpha \frac{Cl_0}{R_0}$ ;  $\alpha = 2,25$ . En este caso se ha obtenido un valor de  $1/\beta = 2560$ ; para X desde 0 a 85 g/L, donde el trazado de la curva obtenida (R/Cl-1; Fig. 1) se corresponde bien con las muestras encontradas.
- La otra agua se asocia al agua de circulación superficial menos salina, que puede estar algo asociada al uso agrícola del suelo y que no se relaciona con el lavado de halita, en la que  $Cl_0 = 2,3$  g/L y  $R_0 = 500$ ;  $Br_0 = \alpha \frac{Cl_0}{R_0}$ ;  $\alpha = 2,25$ . En este caso se ha obtenido un valor de  $1/\beta = 3300$ ; para X desde 0 a 85 g/L. Su representación no permite establecer criterios de posible mezcla de esta agua con las aguas más salinas (R/Cl-2; Fig. 1).

El valor molar de  $1/\beta$  es levemente superior al valor obtenido para la muestra más salina ( $R \sim 5500$ ), lo que es esperable ya que estas muestras no tienen por que ser las más salinas de todas las existentes en la zona aunque se acercan bastante a este valor teórico.

El agua tomada en los arroyos de la zona (D) corresponde al agua característica de los tramos superiores que no presentan contenido isotópico de aguas evaporadas. Las aguas de circulación superficial (AC) parecen estar algo afectadas por aguas derivadas del uso agrícola del suelo aunque no se disponen de muestras que indiquen que están interaccionando con las aguas más salinas.

---

#### Conclusiones:

Se ha determinado un valor de  $R \sim 5500$  para muestras cuya salinidad es producto de la disolución de halita.

Aguas características de la zona endorreica, tomada en arroyos y aguas subterráneas poco salinas (entre 5 y 10 g/L), representativas de los flujos superiores, no están afectadas significativamente por procesos de evaporación ni otros procesos antrópicos. Presentan contenidos de Cl entre 1000 y 2600 mg/L y valores de R entre 1000 y 1800.

El proceso progresivo de incremento de sales por disolución de halita y yeso, principalmente, que se produce en las aguas subterráneas en su transcurso desde las zonas de recarga hacia las de descarga implica un incremento del

contenido de Cl y de la relación rCl/rBr hacia valores de 5500. Se han detectado algunos puntos de agua con un contenido de la relación intermedio entre las aguas más características de la zona de recarga con las aguas con mayor contenido en sales, como en la zona occidental con contenidos de Cl entre 6 y 8 g/L y valores de R ~ 3700.

Se han identificado tres puntos de agua con una relación rCl/rBr menor que la observada en el resto de puntos representativos de la zona superficial de los acuíferos de la plataforma. Presentan contenidos de Cl entre 2600 y 3300 mg/L y valores de R ~ 560 que parecen asociarse a aguas circulantes que no disuelven halita o que pueden incluir aguas más modernas que aun no han interactuado significativamente con la parte soluble del medio sólido.

---

#### Acciones:

El Dr. Miguel Ángel García Vera ha realizado las siguientes recomendaciones:

- a) Repetir los muestreos en los sondeos 624, 625 y 632 (11 m) con bombeo previo y recuperación del nivel del agua a los niveles de salinidad previos con el objeto de asegurar que las muestras tomadas son representativas de los acuíferos.
- b) Estudiar con más detalle la posible afección por uso agrícola del suelo y presencia de nitratos para asegurar si son contaminaciones persistentes y si se mantiene la estabilidad de los valores en la relación rCl/rBr.
- c) En el muestreo realizado no se han estudiado aguas que han sufrido un proceso de evaporación natural. Se desconoce su valor de la relación rCl/rBr. Se esperaba que las aguas del sondeo 602 sufrieran este proceso pero no ha sido así. El muestreo de este tipo de aguas implicaría la realización de una nueva campaña de campo.

---

#### Referencias específicas:

- Blas, L. *et al.*, (2000). Quaternary palaeohydrological evolution of playa lake: Salada Mediana, central Ebro Basin, Spain. *Sedimentology*, 47: 1135-1156.
- García-Vera, M. A. (1996). Hidrogeología de zonas endorreicas en climas áridos: aplicación a los Monegros (Zaragoza y Huesca). Tesis Doctoral (Servicio de Publicaciones del Consejo de Protección de la Naturaleza de Aragón (Zaragoza).
- Sánchez, J. A., Coloma, P. y Pérez, A. (1999). Sedimentary processes related to the groundwater flows from the Mesozoic Carbonate Aquifer of the Iberian Chain in the Tertiary Basin, northeast Spain. *Sedimentary Geology*, 129: 201-213.
- Sánchez Navarro, J. A.; Martínez Gil, F. J.; De Miguel Cabeza, J. L. y San Román, J. (1989). Hidrogeoquímica de la zona endorreica de las lagunas de Monegros, provincias de Zaragoza y Huesca. *Boletín Geológico y Minero*, 100-5: 160-169.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**ACUÍFERO DETRÍTICO TERCIARIO DE MADRID (Madrid)**

Fecha de muestreo: diciembre 2000

Muestreador: María Elvira Hernández (UCM)

Interpretación: María Elvira Hernández (UCM)

Descripción: María Elvira Hernández (UCM), Francisco Javier Alcalá

Comentarios: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: octubre 2003

Organismos 1: IGME

2: UCM

Objetivos:

- Caracterizar el valor de rCl/rBr muestras tomadas en el Acuífero Detrítico del Terciario de Madrid.

Características del muestreo: muestreo en pozos mediante bombeo.

Características del acuífero: Desde el punto de vista geológico, el Acuífero Detrítico del Terciario de Madrid se enmarca en la Cuenca del Tajo, en la que se pueden distinguir a grandes rasgos tres tipos de facies (López Vera, 1977; Martínez Alfaro, 1977; IGME 1982):

- 1) Facies Detríticas, de borde de cuenca (arenas arcósicas, gravas, limos y arcillas)
- 2) Facies Evaporíticas, de centro de cuenca, de naturaleza química (fundamentalmente yesíferas)
- 3) Facies de Transición, que ocupan una posición intermedia y presentan una naturaleza mixta entre las dos anteriores

Los materiales detríticos constituyen un único sistema acuífero libre, de gran espesor (supera en algunos puntos los 3000 m; Cadavid, 1977) heterogéneo y anisótropo. En zonas proximales aparecen las facies detríticas que están compuestas principalmente por arenas arcósicas, que pasan lateralmente a facies de transición más arcillosas con presencia de evaporitas. La permeabilidad media horizontal es del orden de 0,1 a 0,25 m/día y la permeabilidad media vertical equivalente para el conjunto alternante de capas arenosas y arcillosas es unas 50 a 200 veces inferior que la horizontal (Martínez Alfaro, 1980). De acuerdo con Llamas y López Vera (1975), la recarga de las aguas subterráneas del Terciario proceden de la infiltración de lluvia sobre el propio Terciario o sobre el Cuaternario que lo recubre; la descarga se centra principalmente en el fondo de los valles, por drenaje directo o a través del Cuaternario. Su extensión de afloramiento es de 2500 km<sup>2</sup> dentro

de la Comunidad de Madrid, aunque su extensión total de afloramiento, teniendo en cuenta las provincias limítrofes, es de unos 6000 km<sup>2</sup>. El amplio desarrollo urbano e industrial condiciona modificaciones del agua natural por procesos de contaminación (Hernández-García, 1998).

Comprobaciones buscadas: Caracterizar el valor de R para muestras naturales y otras con signos conocidos de contaminación natural y antrópica.

Tabla 1.- Resultados. Todas las muestras han sido tomadas en pozos mediante bombeo en diciembre de 2000 y fueron analizadas en el Laboratorio del IGME

Clave muestra	Identi. Lab.	T. Municipio / Paraje	Topografía	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/Br	Clave (Prof)	Clave (Facies)	Clave (Lado)	Clave (Otros)
2	00376-02	Humanes	Polígono Industrial Martínza	0,25	57,09	514	I	FD+FT	N	U
25	00376-25	Madrid	Clara, pozo 2	0,078	22,92	661	P	FD+FT	N	U
1	00376-01	Humanes	Polígono Industrial Valdeolmeir, pozo 2	0,29	71,70	556	I	FD+FT	C	U
4	00376-04	Brunete	Camino del Olivar de Belia	0,246	38,68	354	I	FD	N	SU
6	00376-06	Sevilla la Nueva	Urbanización Los Manantiales, pozo 1	0,28	37,03	298	I	FD	N	SU
12	00376-12	Pozuelo de Alarcón	Urbanización Montcalina, pozo 4	0,094	13,70	328	P	FD	N	SU
35	00376-35	Pozuelo de Alarcón	Urbanización Montclaro, pozo 3	0,061	9,61	354	P	FD	N	SU
36	00376-36	Pozuelo de Alarcón	Urbanización Montclaro, pozo 5	0,067	10,97	368	I	FD	N	SU
51	00376-51	Llano de Talamasca-Guadalupe	El Casar, pozo 3	0,126	16,05	287	P	FD	N	SU
66	00376-66	Madrid	Estación de Servicio Navalcarro, pozo 1	0,193	26,59	310	I	FD	N	SU
67	00376-67	Madrid	Estación de Servicio Navalcarro, pozo 2	0,184	21,85	267	P	FD	C	SU
14	00376-14	Daganzo	As. Deportiva Daganzo (camping), pozo 2	0,299	52,71	397	I	FD	N	RU
9	00376-09	Torrejón de la Calzada	Polígono Industrial Las Avenidas	0,204	105,02	1158	I	FD+FT	C	U
32	00376-32	Alcobendas	Yoplait	0,08	10,92	307	I	FD	N	U
5	00376-05	Villanueva	Finca Los Álamos	0,115	18,34	359	I	FD	N	SU
19	00376-19	Villavieja de Odón	Urbanización El Bosque, pozo 10	0,115	36,21	708	P	FD	C	SU
20	00376-20	Villavieja de Odón	Urbanización El Bosque, pozo 14	0,154	55,02	804	P	FD	C	SU
22	00376-22	San Sebastián de los Reyes	Colegio S.E.K. (urb. Ciudadcampo)	0,073	11,33	349	P	FD	N	SU
23	00376-23	San Sebastián de los Reyes	Urb. Ciudadcampo, pozo 4 (P de los Rebecas)	0,092	14,48	354	P	FD	N	SU
26	00376-26	San Sebastián de los Reyes	Residencia Tercera Edad San Eduardo	0,066	6,34	216	I	FD	N	SU
42	00376-42	San Sebastián de los Reyes	Urbanización Fuente del Fresno, pozo 1	0,068	11,58	383	I	FD	N	SU
44	00376-44	San Sebastián de los Reyes	Urbanización Fuente del Fresno, pozo 5	0,072	8,74	273	P	FD	N	SU
49	00376-49	Madrid	Parque Juan Carlos I, pozo 3	0,092	31,22	763	I	FD+FT	N	SU
56	00376-56	Madrid	Parque Juan Carlos I, pozo 4	0,048	10,04	471	I	FD	C	SU
57	00376-57	Madrid	Parque Juan Carlos I, pozo 2	0,089	30,85	780	I	FD+FT	C	SU
59	00376-59	Madrid	Campo de Golf El Olivar de la Hinojosa, pozo 1	0,082	19,06	523	I	FD+FT	N	SU
7	00376-07	Villavieja de Odón	Club de Golf Lomas - El Bosque, pozo 2	0,101	55,65	1240	I	FD	C	SU
10	00376-10	Torrejón de Velasco	J.B.S. Agrícola	0,07	44,31	1424	S	FD+FT	C	SU
18	00376-18	Villavieja de Odón	Urbanización El Castillo (c/ Manantial)	0,113	40,35	803	I	FD	C	SU
60	00376-60	Madrid	Campo de Golf El Olivar de la Hinojosa, pozo 2	0,114	46,00	908	I	FD+FT	S/C	SU
31	00376-31	Paracuellos de Jarama	Colegio Claret	0,248	51,28	465	I	FD+FT	S	SU
54	00376-54	Alcalá de Henares	Colegio San Gabriel	0,243	44,88	416	I	FD+FT	S	SU
55	00376-55	Alcalá de Henares	Colegio San Gabriel	0,239	45,43	428	I	FD+FT	S	SU
58	00376-58	Madrid	Parque Juan Carlos I, pozo 1	0,095	23,19	549	I	FD+FT	C	SU
61	00376-61	Madrid	Barajas	0,087	30,99	802	I	FD+FT	S	SU
3	00376-03	Cuba	Camino de Ugena	0,189	76,11	906	I	FD+FT	C	RU
8	00376-08	Villa del Prado	Finca La Floresta	0,229	66,69	655	I	FD+FT	C	RU
52	00376-52	Valdovinos	Club de Golf Retamar (Alalpartido)	0,179	23,15	293	P	FD	N	RU
53	00376-53	Valdovinos	Club de Golf Retamar (Alalpartido)	0,195	23,54	272	P	FD	N	RU
15	00376-15	Alcobendas	Poledeportivo Municipal, pozo 1	0,081	15,93	443	I	FD	N	U
50	00376-50	Madrid	Campos de Prácticas de la E.T.S.I. Agrónomos	0,186	115,36	1396	I	FD+FT	S	U
11	00376-11	Villanueva del Pardillo	Ganadería Prigola	0,153	21,12	311	I	FD	N	SU
13	00376-13	Paracuellos de Jarama	Restaurante El Jarama	0,098	13,15	302	I	FD	N	SU
17	00376-17	Arroyomolinos	Municipio, pozo 2 (pozo izdo. de 180-190 m)	0,113	17,50	348	I	FD	N	SU
24	00376-24	San Agustín de Guadalupe	Matadero Madrid Norte	0,108	22,91	477	I	FD	N	SU
30	00376-30	San Agustín de Guadalupe	Urbanización Valdelegua, pozo 5	0,067	14,52	488	P	FD	N	SU
33	00376-33	San Sebastián de los Reyes	Club Deportivo Jarama (padel)	0,04	6,70	377	I	FD	N	SU
34	00376-34	Villanueva de la Cañada	Comunidad de Proprietarios Villanueva del Castillo	0,092	19,52	477	P	FD	N	SU
37	00376-37	Camarna de Estreuelas	Alcalágras S.A.	0,097	13,71	318	I	FD	N	SU
39	00376-39	Camarna de Estreuelas	Urbanización El Practicante, pozo 1 (Bar)	0,069	12,44	406	I	FD	N	SU
40	00376-40	Batres	Urbanización Cotrocolando (Avda. Deportiva)	0,103	21,97	480	I	FD	N	SU
41	00376-41	Batres	Urb. Cotrocolando (Avda. de las Cumbres)	0,111	20,40	414	I	FD	N	SU
46	00376-46	Paracuellos de Jarama	Panrico	0,141	18,13	289	I	FD	N	SU
47	00376-47	Madrid	Residencia Canina	0,145	18,27	284	I	FD	N	SU
48	00376-48	Madrid	Residencia Canina	0,137	18,36	302	I	FD	N	SU
63	00376-63	Arroyomolinos	Municipio, pozo 2 (pozo izdo. de 180-190 m)	0,108	17,70	369	I	FD	N	SU
65	00376-65	Arroyomolinos	Pozo municipal	0,108	17,73	369	I	FD	N	SU
16	00376-16	Arroyomolinos	Municipio, pozo 1 (pozo debo. de 265 m)	0,074	13,23	402	I	FD	N	SUAR
27	00376-27	Colmenar Viejo	Urbanización Punta Galas, pozo 1	0,062	9,67	351	I	FD	N	SUAR
28	00376-28	Colmenar Viejo	Urbanización Punta Galas, pozo 2	0,054	8,77	365	I	FD	N	SUAR
29	00376-29	San Agustín de Guadalupe	Urbanización Valdelegua, pozo 4	0,082	13,23	363	I	FD	N	SUAR
38	00376-38	Camarna de Estreuelas	Arnacento S.A.	0,076	11,44	339	I	FD	N	SUAR
43	00376-43	San Sebastián de los Reyes	Urbanización Fuente del Fresno, pozo 3	0,055	9,82	402	P	FD	N	SUAR
45	00376-45	Paracuellos de Jarama	Panrico	0,133	18,06	306	I	FD	N	SUAR
62	00376-62	Arroyomolinos	Municipio, pozo 1 (pozo debo. de 265 m)	0,077	13,31	389	I	FD	N	SUAR
64	00376-64	Arroyomolinos	Municipio, pozo 1 (pozo debo. de 265 m)	0,073	13,33	411	I	FD	N	SUAR
71	00376-71	Madrid	Complejo Deportivo Somontes, pozo 1	0,075	20,37	611	I	FD+FT	N	SUAR
21	00376-21	Villa del Prado	Hosp. geriátrico Virgen de la Poveda, pozo 2	0,091	26,81	663	I	FD+FT	C	SUAR
70	00376-70	Madrid	Los Atraclones	0,075	21,71	651	I	FD+FT	S	RUAR
68	00376-68	Madrid	Casa Forestal de Trofas	0,072	14,42	451	I	FD	N	RUAR
69	00376-69	Madrid	Monte de El Pardo	0,075	14,57	437	I	FD	N	RUAR

Tabla 2.- Claves para caracterizar las muestras

Profundidad del pozo o piezómetro	Tipo de Facies	Influencias	Otros
S - Somero (0-49 m)	FD - Detrítica	N - Natural	AR - Arsenical (>50 µg/litro)
I - Intermedio (50-299 m)	FD+FT - Detrítica y Transición	C - Contaminada	U - Urbana
P - Profundo (igual o superior a 300 m)		S - Sulfatada	SU - Semiurbana RU - Rural

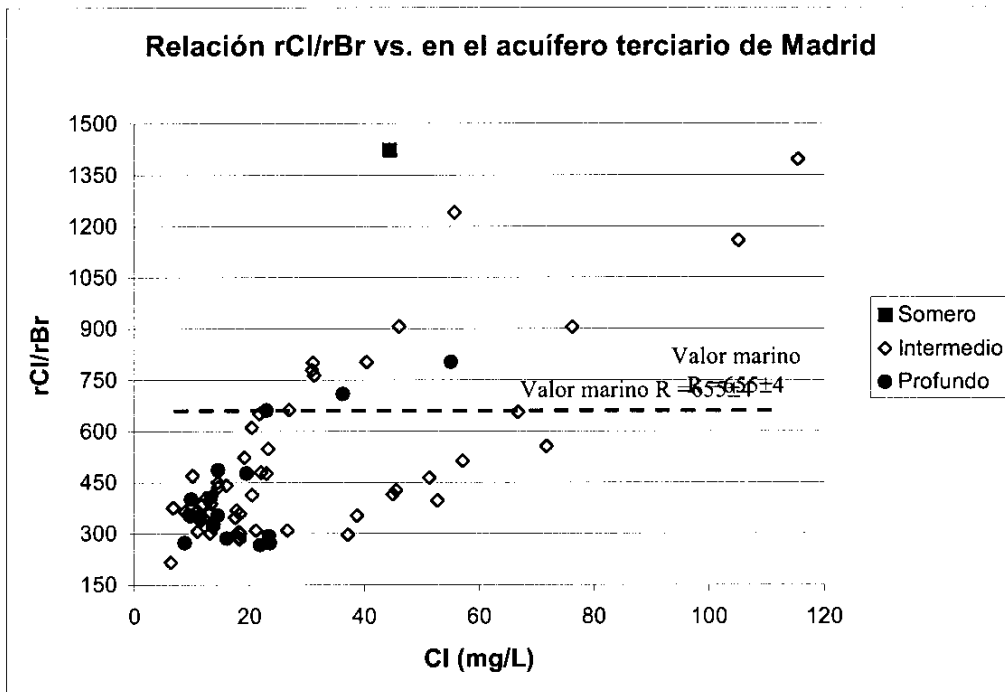


Figura 1.- Relación rCl/rBr vs. Cl de las muestras estudiadas en función a la profundidad de muestreo en pozos someros, intermedios y profundos

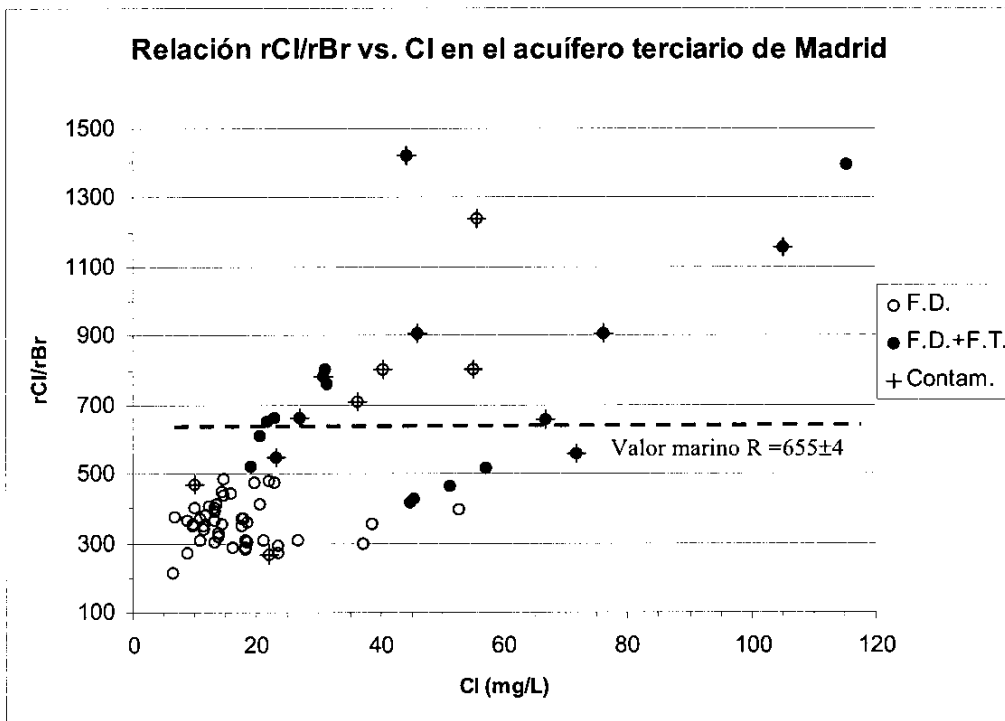


Figura 2.- Relación rCl/rBr vs. Cl según la facies litológica donde se ha tomado la muestra. Con una cruz se indican las muestras con posible contaminación antrópica

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas; y características geográficas, geológicas e hidrogeológicas de la zona. Las muestras pertenecen al reconocimiento y estudio de la distribución de arsénico en el acuífero de Madrid.

---

#### Resultados:

Las 71 muestras estudiadas (Tabla 1) se tomaron en pozos someros, intermedios y profundos del acuífero detrítico terciario de Madrid con un propósito distinto al de caracterizar orígenes de salinidad. No obstante pueden ser interpretadas con este fin debido al conocimiento existente sobre el origen de su salinidad. Todas las muestras fueron tomadas en pozos en bombeo durante diciembre de 2000. La descripción de las muestras incluyen detalles sobre la profundidad de captación, sistema de flujo al que se asignan dentro del acuífero, facies litológicas e influencias naturales y antrópicas que pudieran modificar su salinidad (Tabla 1 y Tabla 2).

La clasificación de muestras en función únicamente a la profundidad del pozo donde se ha realizado el muestreo (Fig. 1) no permite observar, entre ellas, diferencias significativas del valor de R.

Se ha realizado una clasificación de muestras en función a la facies geológica donde se ha tomado la muestra (F.D. y F.D.+F.T.) indicando si se encuentran contaminadas o no (Fig. 2). De esta forma se han obtenido 3 grupos de muestras en cuanto a condiciones de salinidad (Fig. 2), aunque algunas muestras presentan condiciones genéticas de salinidad similares que dan valores similares de R y contenidos de Cl semejantes. Las muestras tomadas en las facies detríticas no contaminadas presentan un valor medio no ponderado y desviación típica de  $R = 360 \pm 60$  para contenidos de  $Cl = 17 \pm 8$ . Las muestras asociadas a facies detrítica y de transición no contaminadas tienen un valor de  $R = 580 \pm 130$  para un contenido de  $Cl = 34 \pm 13$ . Las muestras con indicios de contaminación presentan valores más altos de R y mayor contenido de Cl.

---

#### Discusión:

La clasificación de muestras realizada en función al tipo de facies geológica por donde circula el agua indica que las muestras no contaminadas que han circulado por las facies detríticas presentan valores de R entre 300 y 450 que son claramente inferiores al marino y similares a los obtenidos en la lluvia de la zona, principal recarga al sistema. Se ha obtenido un valor de  $R = 404$  para la deposición total tomada en la localidad de El Casar (Guadalajara), a ~ 50 km de Madrid, durante el periodo 2001-2002 (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205). Estas muestras constituyen el valor de fondo del acuífero para muestras no afectadas por procesos significativos de salinidad de tipo natural o antrópico.



Las muestras no contaminadas que han circulado tanto por facies detríticas como por facies de transición presentan valores de R próximos al valor marino. El aumento del valor de R respecto a las muestras asociadas únicamente a facies detríticas parece deberse a la inclusión, en distinto grado, de halita de formación presente en las facies de transición. Estas muestras son sulfatadas y presentan contenidos de Cl mayores a los anteriores.

Las muestras afectadas por contaminación, bien pertenecientes a facies detríticas como con influencia de facies de transición, incrementan su contenido en Cl y el valor de R, que claramente es superior al valor marino cuanto más afectadas están. Los procesos de contaminación urbana, y otros como industriales y ganaderos, elevan el valor de R de las muestras e incrementan el contenido en Cl. Las muestras presentan habitualmente contenidos altos de Na y  $\text{NO}_3$ , y en ocasiones de  $\text{PO}_4$ . La presencia de aguas residuales que incluyen halita de uso doméstico condicionan el aumento de R.

Muestras arsenicales tomadas en pozos que captan tramos profundos de la zona de descarga y sin signos de contaminación antrópica tienen un valor de  $R = 370 \pm 30$  y contenidos de Cl semejantes a los valores de fondo del acuífero. Se deduce que el mecanismo que condiciona la aparición de As en el acuífero no modifica el valor de R ni su contenido en Cl.

---

#### Conclusiones:

Las aguas no contaminadas que han circulado por las facies detríticas, tanto por tramos someros, intermedios y profundos, presentan valores de R entre 300 y 450 y contenidos en Cl entre 6 y 25 mg/L, atribuibles a los valores de fondo del acuífero y similares a los obtenidos en la lluvia, principal fuente de recarga. Las aguas que han circulado por las facies de transición, con presencia de evaporitas y halita de formación, incrementan levemente el contenido de Cl y aumentan el valor de R hasta valores próximos al valor marino por efecto de disolución de halita de formación.

La presencia de As en el acuífero no está relacionada con variación alguna de R ni del contenido en Cl.

Los procesos de contaminación incrementan el valor de R y el contenido de Cl. Las aguas afectadas principalmente por aguas residuales de origen urbano dan valores de R desde levemente superiores al valor de fondo del acuífero ( $R \sim 500$ ) hasta  $R = 1400$ , siendo común que R esté entre 750 y 900; valores que son claramente superiores al valor de fondo del acuífero.

---

#### Acciones:

Esta zona ha sido caracterizada y no necesita seguir siendo muestreada.

---

#### Referencias específicas:

Cadavid, S. (1977). Mapa estructural del techo del basamento del borde meridional de la Sierra de Guadarrama. *Boletín Geológico y Minero*. Vol.

88(6): 494-496.

- Hernández-García, M.E. (1998). *Impacto de la ciudad de Madrid sobre la calidad de las aguas subterráneas del Acuífero Detrítico del Terciario*. Tesis Doctoral. Univ. Comp. de Madrid. 1-553 pp + anexos.
- HID 1999-0205 (2003). *Estudio de la deposición total atmosférica obtenida en la red de muestreo del IGME en diversas zonas de España*. Informe nº 6. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 41 pp.
- IGME (1982). *Atlas Hidrogeológico de la provincia de Madrid*. Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Industria y Energía, Madrid, 5 mapas.
- Llamas, M.R. y López Vera, C.F. (1975). Estudio sobre los recursos hidráulicos subterráneos del área metropolitana de Madrid y su zona de influencia: avance de las características hidrogeológicas del Terciario Detrítico de la Cuenca del Jarama. *Agua*. 88: 36-55.
- López Vera, F. (1977). Modelo de sedimentación de los materiales detríticos de la fosa de Madrid. *XXXII Congreso Luso-Español para el Progreso de la Ciencia*. Vol. 42(4): 257-266.
- Martínez Alfaro, P.E. (1977). *Hidrogeología de los materiales Terciarios y Cuaternarios de la Cuenca del río Manzanares*. Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense de Madrid, Madrid, vol. 1-300 pp. (aprox.).
- Martínez Alfaro, P.E. (1980). Un primer análisis de la permeabilidad y el grado de anisotropía de los materiales detríticos de la Fosa del Tajo. *Boletín Geológico y Minero*. 91: 645-648.

## **ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br**

Lugar de ensayo:

**ACUÍFERO DE LOS ARENALES (Valladolid, Salamanca, Segovia, Ávila)**

Fecha de muestreo: marzo 2001

Muestreador: Víctor del Barrio (IGME, Oficina de Salamanca)

Descripción: Víctor del Barrio, Francisco Javier Alcalá

Comentarios: Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Francisco Javier Alcalá

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: mayo 2003

Organismos 1: IGME

Objetivos:

- Conocidas las líneas generales del origen de la salinidad asociada a las zonas de recarga, tránsito y descarga del acuífero de Los Arenales se ha realizado un muestreo selectivo para obtener el valor de la relación rCl/rBr de cada una de ellas. El muestreo también ha incluido otras muestras que están afectadas por procesos antrópicos que modifican su salinidad natural.

Características del muestreo: Los detalles se describen en la tabla adjunta.

Características del acuífero: el acuífero de Los Arenales está constituido por los materiales de relleno de la fosa tectónica del Duero, que van desde el Terciario al Cuaternario (Corrales, 1982). Queda limitado al Norte por el río Duero y al Sur y Este por el Sistema Central. Está compuesto por niveles de arenas y gravas dispuestos en capas lenticulares, distribuidas de forma aleatoria con escasa continuidad lateral, distinguiéndose una zona de la otra por la frecuencia de los niveles de gravas. Sobre el acuífero terciario se encuentran los extensos depósitos de arenas cuaternarias de granulometrías variadas que recubren parcialmente las formaciones arcilloso-arenosas del Mioceno. La superficie afectada por los arenales es de unos 6000 km<sup>2</sup>, pero solamente 2000 km<sup>2</sup> son arenales propiamente dichos.

Cada arenal o cuerpo detrítico constituye un acuífero local. A escala regional se pueden considerar como un acuífero libre, continuo y heterogéneo. Los acuíferos miocenos que se desarrollan debajo de los arenales, así como donde afloran o están próximos a la superficie, también se comportan como acuíferos libres. La topografía alomada de esta zona permite la generación de lagunas freáticas en las cotas más bajas (Bernáldez *et al.*, 1990). Su recarga es por la lluvia de la zona sur (Sistema Central) y su descarga natural la hace a la cuenca del río Duero (Rey Beneyas, 1991). El agua presenta tiempos de residencia muy altos (se estima en cientos de años), produciéndose durante este tiempo procesos de mineralización o alcalinización (Llamas, 1988).

Puntualmente la existencia de niveles evaporíticos modifica su salinidad.

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de rCl/rBr de muestras tomadas en la zona de recarga, tránsito y descarga del acuífero, muestras asociadas a disolución de evaporitas y muestras afectadas por procesos antrópicos modificadores de su salinidad.

Tabla 1. Resultados obtenidos

Clave Muestra	Prov.	Ident. Lab.	T. Muestro / Parsje	Topónimo	Captación	M. Muestro	F. Muestro	Lab	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr	Clave
191640001	SG	01/064-01	Campo de San Pedro	Las Coronas (Piezómetro P-2)	SP	TMS	mar-01	IGME	0,0145	3,3	504	R-T
161610041	VA	01/064-02	Valdestrillas	El Cristo (Ayuntamiento)	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,4055	124	688	T-D
161770015	VA	01/064-03	Puras	Alameda del Caño-El Palomar (Ayto)	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,0594	31	1184	T(AR)
161810082	AV	01/064-04	Donvidas	Depósito Aguas	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,4928	115	527	T
sin clave	AV	01/064-05	Donvidas	Madrigal Altas Torres	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,3219	76	529	T
151940259	AV	01/064-06	Fuente el Saúz	Ayuntamiento	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,0821	21	575	T
151960001	AV	01/064-07	Narros del Castillo	El Hornillo (Piezómetro P-7)	SP	TMS	mar-01	IGME	0,3057	80	586	R-T
141780002	SA	01/064-08	Tarazona de la Guareña	Coop. Agri. S. Miguel Arcangel	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,1007	22	497	T
151720025	VA	01/064-09	Nava del Rey	Depósito (Ayuntamiento)	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,2082	53	570	T
15167-7	VA	01/064-10	Rueda	Depósito (Ayuntamiento)	SMR	MBP	mar-01	IGME	0,1040	35	753	T-D
161640001	VA	01/064-11	Portillo	Ayuntamiento	PB	MBP	mar-01	IGME	0,1554	318	4611	D(ER)
sin clave	VA	01/064-12	Valladolid	Fca. Levadotas (Va)	PB	MBP	mar-01	IGME	1,0643	2244	4743	D(AS)

**CLAVES CAPTACIÓN**

Sondeo Puntual SP  
 Sondeo Multiranurado SMR  
 Pozo en Bombeo PB  
 Pozo sin Bombeo PSB

**CLAVES MET. MUESTREO**

Muestra de Bombeo de Pozo MBP  
 Tomanuestras Sumergible TMS

**CLAVE DE ZONA DE FLUJO**

Recarga R  
 Tránsito T  
 Descarga D

**INFLUENCIA SALINA**

Aguas residuales AR  
 Lavado de evaporitas ER  
 Aguas salinas de origen industrial AS

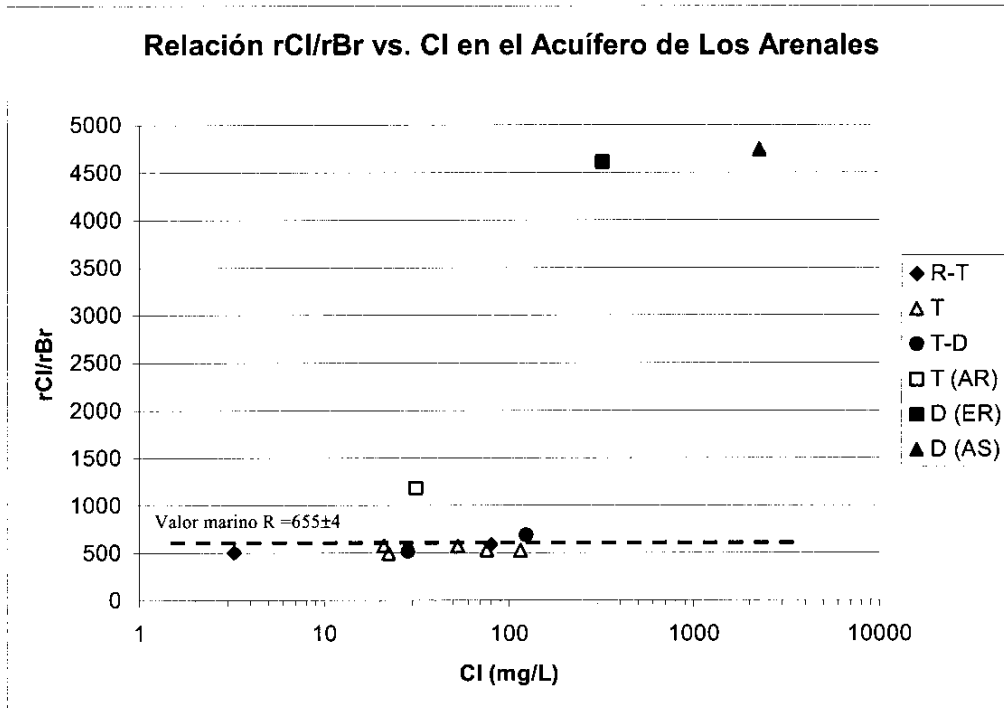


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl

## Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios únicamente para las muestras 3 y 6 (Puras y Fuente del Sauz). Se dispone de características geográficas, geológicas e hidrogeológicas de todas las muestras.

T. Munic. / Paraje	Puras	Fuente el Sauz	
Topónimo	Alameda del Caño-El Palomar (Ayunt)	Ayuntamiento	
Lab	IGME	IGME	
F. Análisis	22.3.2003	22.3.2003	
Br (mg/l)	0,0594	0,0821	Muestra de marzo de 2001
Cl-(mg/L)	31,00	21,00	
rCl/rBr	1174	576	
DQO	1,4	0,2	
pH	8,8	8,4	
CE (µS/cm)	420	309	
Na+(mg/L)	96	75	
K+ (mg/L)	1	0	
Ca+2 (mg/L)	11	5	
Mg+2 (mg/L)	9	1	
NH4 (mg/L)	0	0	
Fe+2 (mg/L)	0	0	Muestra de junio de 2001
As+2 (mg/L)		0,043	
Li+ (mg/L)		0	
SiO2(mg/L)	17,2	20,7	
Cl- (mg/L)	39	26	
SO4=(mg/L)	29	5	
CO3H-(mg/L)	165	144	
CO3=(mg/L)	12	5	
NO3-(mg/L)	24	6	
NO2-(mg/L)	0	0	
PO4-3(mg/L)	0	0,08	
F-(mg/L)		0	

Ambas presentan un fuerte exceso de Na y déficit de Ca y Mg, altos contenidos relativos en  $\text{HCO}_3$  y  $\text{NO}_3$ . La muestra Puras pertenece a un pozo localizado en el núcleo urbano. Los indicios hidroquímicos y su localización hacen sospechar que pueden estar afectada por contaminación derivada de aguas urbanas.

## Resultados:

El muestreo se ha realizado en diversos pozos y piezómetros localizados en las zonas de recarga, transición y descarga del acuífero cuyo origen de la salinidad era conocido antes del muestreo, y que se corresponden con los niveles de fondo regional (Tabla 1). Además se han muestreado otros dos pozos con modificaciones de la salinidad original. Una muestra tomada en un pozo de la localidad de Puras (Alameda del Caño-El Palomar) está afectado por aguas residuales y un pozo de la Fábrica de Levaduras en Valladolid que presenta un contenido muy elevado de Cl.

Las muestras que representan las condiciones de salinidad natural son (Fig. 1):

2 muestras asignadas a la zona de recarga (R-T): El valor de R =  $545 \pm 60$ . Sus contenidos en Cl son variables y oscilan entre 3 y 80 mg/L.

4 muestras tomadas en la zona de tránsito (T): El valor de R =  $540 \pm 30$  y sus contenidos en Cl son variables y oscilan entre 20 y 115 mg/L. En todos ellos la rejilla está colocada a más de 100 m. Las aguas son bicarbonatadas-sódicas y cálcicas.

2 muestras asignadas a la zona de tránsito-descarga (T-D): El valor de R =

720±50. Sus contenidos en Cl son variables (entre 30 y 120 mg/L). La profundidad del muestreo para un pozo ha sido a más de 200 m encontrando facies bicarbonatada-sódica. El otro pozo (localidad de Rueda) es más somero y está totalmente ranurado, pudiendo estar captando aguas de retornos de riegos que le proporcionarían mayor salinidad (IGME, 1982).

1 muestra de la zona de descarga del acuífero con un contenido de Cl = 318 mg/L y un valor de R = 4611, cuyo origen de la salinidad no está aclarado del todo. Se intuye una aportación de salinidad a partir del lavado de niveles evaporíticos comunes en la zona distal de la cuenca (IGME, 1982).

Las muestras cuya salinidad está modificada por procesos antrópicos son:

1 muestra tomada en un pozo situado en el núcleo urbano de la localidad de Puras (Valladolid) presenta un contenido de Cl = 31 mg/L y un valor de R = 1184. Esta muestra parece estar algo afectada por aguas residuales, como indica su contenido apreciable en NO<sub>3</sub> (~ 30 mg/L).

1 muestra tomada en un pozo de la Fábrica de Levaduras de Valladolid presenta un contenido de Cl = 2244 mg/L y un valor de R = 4743. Su alto contenido salino se asocia al posible lixiviado de halita utilizada durante el proceso industrial. El agua es clorurada-sódica.

---

#### Discusión:

El valor de R obtenido para las muestras cuya salinidad es de origen natural aumenta, de forma general, desde la zona de recarga-tránsito (R-T) a la zona de descarga (D) asociado al incremento de la salinidad general en el acuífero. Se pasa de valores medios de R ~ 540 en la zona de (R) y (T) a valores de R ~ 720 en la zona de (T-D). El contenido en cloruro de las muestras estudiadas aumenta en este mismo sentido a favor del sistema de flujo del acuífero (Llamas, 1988; Vega García *et al.*, 1989). El aumento de R en la zona de descarga (D) se asocia al aumento del tiempo de residencia de las aguas y al lavado de niveles evaporíticos en zonas distales de la cuenca sedimentaria. Este aspecto parece condicionar el valor de R = 4611 de la muestra tomada en Portillo (Valladolid), aunque no existen otros datos complementarios que lo afirmen con más rotundidad.

Una muestra tomada en un pozo en la zona urbana de la localidad de Puras parece estar afectada por la presencia de aguas residuales urbanas. Presenta un valor de R = 1184 que puede asociarse a la incorporación de halita de uso doméstico o ganadero. Una muestra tomada en un pozo de la Fábrica de Levaduras de Valladolid muestra un valor de R = 4743, asociado al lixiviado de halita de uso industrial. Su contenido en Cl supera los 2200 mg/L.

---

#### Conclusiones:

El valor de R de las muestras estudiadas es de ~ 540 en las zonas de recarga y tránsito, marcando el nivel de fondo regional. En la zona de descarga el valor de R aumenta hasta R ~ 720 debido al lavado progresivo de sales evaporíticas. Cuando este lavado es importante cuantitativamente se puede llegar a superar el valor de R = 4000, sin que se produzca un aumento significativo del

contenido de Cl.

Una muestra con síntomas de afección por aguas residuales urbanas presenta un valor de R ~ 1100, y una muestra que incorpora lixiviado de halita de origen industrial presenta un valor de R superior a 4000, para un contenido en Cl superior a 2200 mg/L.

---

Acciones:

En esta zona ha quedado caracterizado el valor de R.

---

Referencias específicas:

- Bernaldez, F.G. *et al.* (1990). Groundwater indicator plants in the Tertiary aquifers of central Spain. *Hydrogeology*, 1: 301-312.
- Corrales, I. (1982). El Mioceno al sur del río Duero (sector occidental). Reunión sobre la Geología de la cuenca del Duero. Salamanca, 1979. Temas geológico-mineros. IGME (Madrid). 709-713.
- IGME (1982). Calidad de las aguas subterráneas en los acuíferos terciarios detríticos de la cuenca del Duero. Aguas Subterráneas. Colección Informe.
- Llamas, M.R. (1988). Conflicts between wetland conservation and groundwater exploitation: two case histories in Spain. *Environ. Geol. Water Sci*, 11(3): 241-251.
- Rey Beneyas, J.M. (1991). Aguas subterráneas y ecosistemas de descarga de acuíferos en Los Arenales. ICONA-CSIC. 161 pp.
- Vega García, M.T. *et al.* (1989). Hidrogeoquímica regional de un transecto arcósico de la cuenca del Duero. *Geogaceta*, 6: 30-32.

## **ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br**

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFERO CRETÁCICO DE AVEIRO (Portugal)**

Fecha de muestreo: varias campañas, oct. 1996, sep. 2000, ago. 2000 y dic. 2000.

Muestreador: María Teresa Condesso de Melo (Universidad de Aveiro)

Descripción: María Teresa Condesso de Melo

Comentarios: Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: abril 2003

Organismos 1: Universidad de Aveiro (Portugal)

Objetivos:

- Conocidas las líneas generales sobre el origen de salinidad asociada a las zonas de recarga, descarga y tránsito del acuífero confinado, además de otros procesos antrópicos, que afectan la hidroquímica del acuífero cretácico de Aveiro; se ha recopilado la información sobre el uso de la relación  $rCl/rBr$  en dicho acuífero (Condesso de Melo, 2002).

Características del muestreo: se ha realizado en 90 puntos (pozos y piezómetros). Los detalles se describen en la Tabla 1.

Características del acuífero: el acuífero cretácico de Aveiro pertenece a una serie potente de sedimentos siliciclásticos depositados al norte de la cuenca de Lusitania, Noreste de Portugal. Tiene una superficie de  $\sim 1800 \text{ km}^2$  y está limitado al Oeste por el basamento paleozoico del (Macizo Ibérico), compuesto por materiales metamórficos e intrusivos ígneos de baja permeabilidad. Sobre estos aparecen materiales triásicos de escasa entidad acuífera. Discordantes sobre el substrato paleozoico y materiales triásicos se asienta el acuífero multicapa cretácico de Aveiro. Sobre los materiales cretácicos aparecen materiales cuaternarios que llenan paleorelieves. El cuaternario responde a un sistema multiacuífero (Condesso de Melo *et al.*, 2001); sus características hidroquímicas y de flujo pueden consultarse en Marques de Silva (1990) y Ferreira (1995).

De techo a muro, el sistema multicapa cretácico está compuesto por una formación arcilloso-margosa que constituye un acuicludo que limita la recarga y cubre las capas permeables inferiores. Bajo éste se localiza una importante formación de areniscas acuíferas que constituyen el grueso del acuífero. Este acuífero es confinado en dos terceras partes de su extensión (Marques de Silva, 1990) y está dividido internamente en varios subacuíferos por la presencia de materiales carbonatados y/o arcillosos intercalados de menor permeabilidad, con mayor tiempo de residencia de sus aguas y mayor



salinidad. En conjunto, la permeabilidad varía entre valores inferiores a 1 m/día hasta 30 m/día. El espesor del acuífero se incrementa hacia la costa, pudiendo alcanzar los 150 m. La parte inferior del acuífero es la más explotada, la que presenta menor salinidad y la más permeable. Bajo esta aparece una unidad carbonatada, de menor permeabilidad, mayor salinidad y con presencia de agua salina de origen marino antiguo, que separa el acuífero cretácico del sustrato paleozoico-triásico. El sistema cretácico aflora en superficie al Este, donde se registra la principal zona de recarga al sistema, asociada a la infiltración del agua de lluvia.

Los materiales cuaternarios están compuestos por aluviales, dunas de arena, y depósitos de antiguas terrazas y playas que descansan regionalmente en discordancia sobre el zócalo paleozóico, al norte, y sobre materiales cretácicos en el resto de la región. Su espesor máximo es de unos 25-30 m. Se trata de un sistema multiacuífero de espesor y distribución variable. Presentan permeabilidades entre 5 y 30 m/día. La recarga se produce por infiltración de la lluvia, excedentes de riego y pérdidas en redes de distribución. La descarga se produce al mar, ríos principales y mediante explotación para uso industrial, agrícola y consumo humano (Condeso de Melo *et al.*, 2002).

La hidroquímica y salinidad del acuífero cretácico de Aveiro están controladas por el flujo regional actual y pasado, la estratificación natural del acuífero y los niveles de fondo regionales. A estos aspectos se suman las inversiones de gradiente en la vertical, procesos de mezcla, contaminación variada y relaciones agua-sedimento. No obstante existe escasa variación de la calidad química del agua (Marques de Silva, 1990; Carreira Paquete *et al.*, 1996; Condeso de Melo *et al.*, 2001; Condeso de Melo, 2002). Los pozos incrementan su salinidad hacia la costa siguiendo el incremento de espesor de acuífero. Suelen tener varias rejillas, bombeando desde diferentes niveles acuíferos con hidroquímicas y tiempos de residencia diferentes pero conocidos. La salinidad más elevada se produce en los tramos superiores, acuífero cuaternario, y en los tramos más profundos del acuífero confinado cretácico; en el primer caso es debido a intrusión marina y en el segundo debido a la presencia de agua de mar antigua en los sedimentos.

Las facies hidroquímicas están relacionadas con la distribución de flujo del acuífero, existiendo 3 tipos de aguas desde la zona de recarga hacia la costa.

- Aguas modernas de zonas superiores no confinadas. Son Ca-HCO<sub>3</sub>, ricas en O<sub>2</sub>, pH > 7,0, escaso contenido de Cl (~ 30 mg/L) y con T < 20 °C. Algunas presentan signos de contaminación de origen urbano, agrícola e industrial.

- Aguas holocenas pre-industriales de la zona intermedia y parte confinada. Son Ca-HCO<sub>3</sub> o Na-HCO<sub>3</sub>, pobres en O<sub>2</sub>, pH entre 6,2 y 8,3 y con T ~ 21,3 °C. Los contenidos en Cl rondan los 40 mg/L.

- Aguas del Pleistoceno superior-Holoceno inferior de la zona profunda y confinada del acuífero. Son Na-HCO<sub>3</sub> Na-Cl, muy pobres en O<sub>2</sub>, pH entre 7,1 y 8,9, T > 22 °C hasta 30 °C en la parte W del acuífero. Su contenido medio en Cl es de ~ 115 mg/L.

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de rCl/rBr de muestras tomadas en la zona de recarga, tránsito y descarga del acuífero y muestras de lluvia en diferentes lugares de la zona.

Tabla 1. Resultados. Las muestras de pozos se han tomado durante bombeo. Las muestras de pozos abandonados y piezómetros se han tomado mediante tomamuestras sumergibles. Las muestras de lluvia se han tomado en colectores que recogían deposición total atmosférica. La determinación de Cl y Br se ha realizado mediante ensayo colorimétrico y cromatografía iónica en "Activation Laboratories" en Ontario (Canada).

Ref.	Clave muestreo	Fecha de muestreo	Facies	Prof. Bomba (m)	Captación	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/rBr	Sistema de Flujo	Uso	Afección
LLUVIA	Aveiro		Na-Cl			0,02	5,29	496	LLU		LLU
LLUVIA	Albergaria a Velha		Na-Cl			0,02	3,57	349	LLU		LLU
LLUVIA	Oliveira do Bairro		Na-Cl			0,02	3	329	LLU		LLU
24	O2/174/002	31-07-00	Na-HCO <sub>3</sub>	40	Pozo	0,15	32,9	494	CON	IND	RE
69	O2/185/007	29-10-96	Na-Cl	53	Pozo	0,26	42,7	370	CON	IND	RE
94	O2/185/032	24-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	90	Pozo	0,10	23,5	529	REC	PUB	RE
111	O2/185/049	31-07-00	Na-HCO <sub>3</sub>	80	Pozo	0,23	41,1	402	REC	IND	RE
122	O2/185/060	28-07-00	Na-HCO <sub>3</sub>	100	Pozo	0,24	39,5	370	REC	IND	RE
162	O2/206/001	23-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,20	42	473	CON	RIE	RE
174	O2/208/001	04-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>	100	Pozo	0,30	45,8	344	REC	IND	RE
175	O2/208/002	02-08-00		50	Pozo	0,09	21,1	528	REC	RIE	RE
176	O2/208/003	03-08-00			Pozo	0,12	25,5	478	REC	IND	RE
105	O2/185/043	01-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,10	26,8	603	CON	IND	RE+I
131	O2/196/004	23-10-96	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,08	25,2	709	REC	IND	RE+I
150	O2/196/023	26-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	70	Pozo	0,22	53,9	551	CON	DOM	RE+I
152	O2/196/025	25-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	83	Pozo	0,13	24,8	429	REC	PUB	RE+I
168	O2/207/004	26-09-97	Na-SO <sub>4</sub>		Pozo	0,19	46,2	547	REC	DOM	RE+I
114	O2/185/052	03-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>	60	Pozo	0,25	52,3	471	REC	DOM	RE+A
130	O2/196/003	25-10-96	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,16	33,5	471	REC	PUB	RE+A
135	O2/196/008	29-10-96	Na-Cl	100	Pozo	0,20	24,4	275	REC	IND	RE+A
136	O2/196/009	25-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	52	Pozo	0,16	20,8	293	REC	PUB	RE+A
142	O2/196/015	26-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,15	30,6	459	REC	DOM	RE+A
148	O2/196/021	25-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	45	Pozo	0,19	39	462	REC	DOM	RE+A
151	O2/196/024	25-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	90	Pozo	0,18	46,5	581	CON	PUB	RE+A
154	O2/196/027	01-08-00	Na-Cl		Pozo	0,22	20,4	209	REC	IND	RE+A
20	O2/173/001	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	71	Piez	0,26	71,9	622	COS		CO
41	O2/174/019	22-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	80	Pozo	0,18	42,2	528	CON	IND	CO
52	O2/184/002	22-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,11	31,4	642	COS	IND	CO
53	O2/184/003	23-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	50	Pozo	0,13	35,4	613	COS	IND	CO
55	O2/184/005	09-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	50	Pozo	0,13	40,1	694	COS	PUB	CO
56	O2/184/006	24-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	78	Pozo	0,10	28,8	648	COS	PUB	CO
61	O2/184/011	04-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	72	Pozo	0,12	35	656	COS	PUB	CO
79	O2/185/017	09-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	65	Pozo	0,11	33,1	677	CON	PUB	CO
80	O2/185/018	23-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	75	Pozo	0,13	37,7	653	CON	IND	CO
81	O2/185/019	23-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	67	Pozo	0,09	26,7	668	CON	IND	CO
83	O2/185/021	25-09-96	Ca-HCO <sub>3</sub>	83	Pozo	0,09	23,8	595	CON	IND	CO
85	O2/185/023	28-07-00	Na-HCO <sub>3</sub>	62	Pozo	0,10	28,9	650	CON	PUB	CO
86	O2/185/024	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	69	Pozo	0,10	29,8	671	CON	PUB	CO
87	O2/185/025	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	80	Pozo	0,11	26,9	550	CON	PUB	CO
89	O2/185/027	23-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>	66	Pozo	0,10	30,3	682	CON	IND	CO
92	O2/185/030	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	88	Pozo	0,10	26,7	601	CON	PUB	CO
96	O2/185/034	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	79	Pozo	0,10	27,9	628	CON	PUB	CO
116	O2/185/054	19-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,10	29,3	659	CON	IND	CO
128	O2/196/001	22-09-97	Na-SO <sub>4</sub>	20	Pozo	0,15	44	660	CON	IND	CO
129	O2/196/002	25-10-96	Ca-SO <sub>4</sub>		Pozo	0,30	81,9	614	CON	PUB	CO
144	O2/196/017	01-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,08	24,5	689	REC	DOM	CO
146	O2/196/019	26-09-97	Na-Cl		Pozo	0,14	43,4	698	CON	DOM	CO
147	O2/196/020	24-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,08	23,6	664	CON	IND	CO
167	O2/207/003	23-09-97	Ca-SO <sub>4</sub>		Pozo	0,09	26,7	668	REC	DOM	CO
34	O2/174/012	19-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	53	Pozo	0,13	44	762	CON	IND	CO+I
44	O2/174/022	31-07-00	Na-HCO <sub>3</sub>	54	Pozo	0,18	50,7	634	CON	IND	CO+I
62	O2/184/012	12-12-00	Na-HCO <sub>3</sub>	72	Pozo	0,11	35,8	732	CON	IND	CO+I
67	O2/185/005	09-10-96	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,15	52,9	794	CON	PUB	CO+I
70	O2/185/008	25-09-96	Ca-HCO <sub>3</sub>	77	Pozo	0,09	28,4	710	REC	PUB	CO+I
73	O2/185/011	24-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>	80	Pozo	0,09	29,4	735	REC	PUB	CO+I
76	O2/185/014	03-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	60	Pozo	0,18	68,1	851	CON	IND	CO+I
78	O2/185/016	22-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	40	Pozo	0,10	31,6	711	CON	IND	CO+I
93	O2/185/031	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	90	Pozo	0,18	70	875	CON	PUB	CO+I
95	O2/185/033	25-09-96	Na-HCO <sub>3</sub>	86	Pozo	0,12	39,6	743	CON	PUB	CO+I
113	O2/185/051	01-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	70	Pozo	0,12	39	731	CON	IND	CO+I
121	O2/185/059	02-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	60	Pozo	0,50	174	783	COS	DOM	CO+I
166	O2/207/002	23-09-97	Ca-SO <sub>4</sub>		Pozo	0,07	23,9	768	REC	DOM	CO+I

continuación de la Tabla 1

Ref.	Clave muestreo	Fecha de muestreo	Facies	Prof. Bomba (m)	Captación	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/Br	Sistema de Flujo	Uso	Afección
91	O2/185/039	25-09-96	Na-Cl	78	Pozo	0,32	132	928	CON	PUB	CO+U
101	O2/185/039	22-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	52	Pozo	0,04	15,9	894	CON	IND	CO+U
104	O2/185/042	01-08-00	Na-Cl		Pozo	0,41	213	1169	REC	DOM	CO+U
153	O2/196/026	23-10-96	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,36	240	1500	CON	DOM	CO+U
172	O2/207/008	02-08-00	Na-Cl	100	Pozo	0,80	365	1027	CON	DOM	CO+U
177	O2/217/001	04-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,16	62,9	885	CON	IND	CO+U
185	O2/185/061	13-12-00	Na-Cl	84	Pozo	0,78	360,9	1041	COS	PUB	CO+U
11	O2/163/004	16-12-00	Na-Cl		Piez	1,13	467,1	930	COS		CO+A
12	O2/163/005	23-09-97	Na-Cl	55	Pozo	0,31	118	856	COS	IND	CO+A
15	O2/163/008	15-12-00	Na-Cl	55	Piez	0,31	118	856	COS		CO+A
17	O2/163/010	31-07-00	Na-Cl	45	Pozo	0,29	101	784	COS	PUB	CO+A
36	O2/174/014	19-09-97	Na-Cl	55	Pozo	0,31	105	762	COS	IND	CO+A
51	O2/184/001	11-12-00	Na-HCO <sub>3</sub>		Piez	0,73	233	718	COS		CO+A
65	O2/185/003	25-09-96	Na-Cl	62	Pozo	0,29	111	861	CON	PUB	CO+A
123	O2/195/001	23-09-97	Na-HCO <sub>3</sub>	150	Pozo	0,35	109	701	COS	IND	CO+A
125	O2/195/003	23-09-97	Na-SO <sub>4</sub>	60	Pozo	0,16	51,5	724	COS	PUB	CO+A
134	O2/196/007	01-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	130	Pozo	0,09	31,2	780	CON	PUB	CO+A
149	O2/196/022	24-09-97	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,10	33,9	763	CON	PUB	CO+A
155	O2/196/028	01-08-00	Ca-SO <sub>4</sub>	100	Pozo	0,13	43,7	756	REC	PUB	CO+A
163	O2/206/002	04-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>	100	Pozo	0,06	20,4	765	CON	DOM	CO+A
164	O2/206/003	04-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>	100	Pozo	0,12	39,2	735	CON	IND	CO+A
182	O2/218/003	04-08-00	Na-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,12	41,7	782	CON	DOM	CO+A
183	O2/218/004	04-08-00	Ca-HCO <sub>3</sub>		Pozo	0,16	56,9	800	CON	DOM	CO+A
6	O2/162A/006	31-07-00	Na-Cl	30	Pozo	3,15	941	672	COS	PUB	IM
7	O2/162A/007	19-09-97	Na-Cl	30	Pozo	0,67	202	678	COS	DOM	IM
21	O2/173/002	31-07-00	Na-Cl	98	Pozo	0,60	181	679	COS	DOM	IM
22	O2/173/003	19-09-97	Na-Cl	66	Pozo	0,64	191	671	COS	DOM	IM
57	O2/184/007	22-09-97	Na-Cl	30	Aban	0,76	220	651	COS		IM
58	O2/184/008	09-10-96	Na-Cl	60	Pozo	0,70	210	675	COS	PUB	IM
90	O2/185/028	23-10-96	Na-Cl	98	Pozo	1,31	300	515	CON	IND	IM
127	O2/195/005	28-07-00	Na-Cl	45	Pozo	1,23	387	708	COS	IND	IM

Clave de Sistema de flujo		Uso de la captación	
COS	Pozos costeros	PUB	Público
REC	Pozos en la zona de recarga	DOM	Doméstico
CON	Pozos del acuífero confinado	IND	Industrial
LLU	Agua de lluvia	RIE	Riego

Tipos de Afección	
LLU	Agua de lluvia local
RE	Aguas de recarga holocenas recientes de la época industrial y no afectadas por procesos antrópicos significativos
RE+I	Aguas de recarga recientes afectadas por contaminación de origen industrial
RE+A	Aguas de recarga recientes afectadas por contaminación de origen agrícola
CO	Agua holocena preindustrial característica del fondo regional del acuífero confinado
CO+I	Aguas recientes (pre y post-industriales) del acuífero confinado afectadas por contaminación de origen industrial
CO+U	Aguas, principalmente del acuífero confinado, afectadas por contaminación de origen urbano
COA	Aguas pleistocenas u holocenas antiguas de largo tiempo de residencia, algunas afectadas por actividades industriales
IM	Aguas recientes afectadas por intrusión marina

Tabla 2. Propuesta de símbolos para la clasificación de muestras según los tipos de afección indicados en la Tabla 1

Lluvia local (LLU)	●		
Recarga (RE)	○		+ Contaminación industrial (I)
Confinado (CO)	□		- Contaminación agrícola (A)
Confinado antiguo (COA)	◇		↘ Contaminación urbana (U)
Intrusión marina (IM)	△		

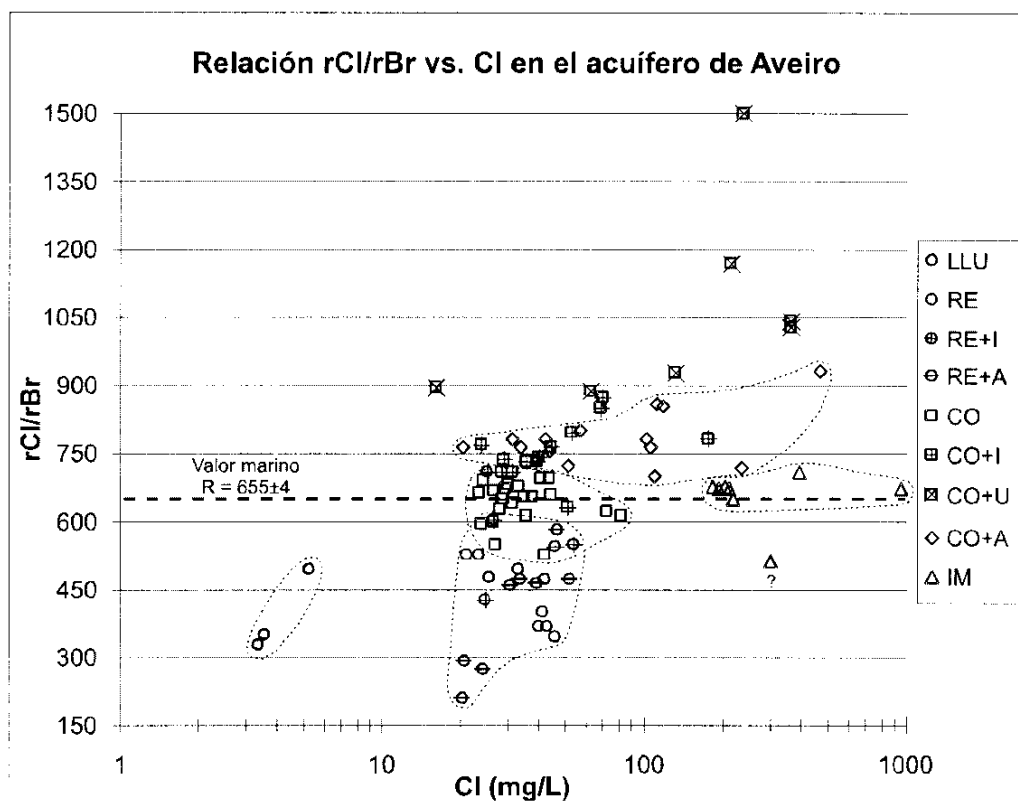


Figura 1. Representación gráfica de la relación Cl/Br vs. Cl

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios, trazas, isótopos (Condesso de Melo, 2002) y gases nobles (Carreira Paquete, 1998). Se dispone de características geográficas, geológicas e hidrogeológicas de todas las muestras.

#### Resultados:

La determinación de Cl y Br se ha realizado mediante ensayo colorimétrico y mediante cromatografía iónica en "Activation Laboratories" en Ontario (Canada).

Se ha dispuesto de los análisis químicos de 90 muestras tomadas en el acuífero cretácico de Aveiro (Tabla 1), que incluían datos de Cl y Br. La clasificación de estas muestras se ha realizado en función al sistema de flujo al que pertenecen, familias hidroquímicas, profundidad de muestreo (profundidad de instalación de la bomba de impulsión) y afecciones naturales y antrópicas descritas en el trabajo de Condesso de Melo (2002). Según esta autora, el origen de la salinidad de las muestras estudiadas responde a un origen natural asociado al flujo del acuífero y, dentro éste, se producen afecciones antrópicas que modifican la salinidad de las muestras. El origen del muestreo no fue

inicialmente aclarar con detalle orígenes de salinidad, pero el conocimiento existente sobre el funcionamiento hidroquímico del acuífero permite reinterpretar con este fin las diferentes muestras aquí incluidas.

Las fuentes de salinidad natural son (Fig. 1):

- Aguas recientes (Holoceno reciente o aguas de la época industrial) afectadas por intrusión marina en la zona costera al NW y W de la ciudad de Aveiro (IM) presentan contenidos de Cl entre 200 y 1000 mg/L. Tienen un valor de  $R = 655 \pm 60$ , más próximo al valor marino típico cuanto mayor presencia de agua de mar entra en la mezcla.
- Agua holocena preindustrial característica del fondo regional del acuífero confinado (CO). Los contenidos en Cl rondan los 35 mg/L. Presenta facies del tipo Na-HCO<sub>3</sub>. Tienen un valor de  $R = 640 \pm 40$ , similares al marino.
- Aguas pleistocenas u holocenas antiguas de largo tiempo de residencia, donde algunas pueden estar afectadas levemente por actividades industriales (presencia leve de metales pesados en algunas muestras) (COA). Estas muestras se han tomado en la zona profunda del acuífero confinado. Presentan facies principalmente del tipo Na-Cl y contenidos en Cl entre 100 y 200 mg/L. Tienen un valor de  $R = 810 \pm 80$ , claramente superior al marino.
- Aguas de recarga holocenas recientes (época industrial) no afectadas por procesos antrópicos significativos que modifiquen su salinidad (RE). Se localizan principalmente en la zona N, E y SE de la ciudad de Aveiro, donde aflora el acuífero cretácico. Presentan facies del tipo Na-HCO<sub>3</sub> y Ca-HCO<sub>3</sub>, contenidos en Cl en torno a 35 mg/L. Se han obtenido dos grupos de datos. El primero, en el interior y más alejado de la costa, tiene un valor de  $R = 370 \pm 20$ , similar al valor de R de la lluvia de la zona. El segundo corresponde a puntos situados al norte de la ciudad de Aveiro; tiene un valor de  $R = 500 \pm 30$  similar al agua de lluvia en Aveiro (cerca del mar).
- Agua holocena preindustrial característica del fondo regional del acuífero confinado, identificado anteriormente con las siglas CO, pero en zonas distales del acuífero (zonas S y SW) donde las muestras indican un enriquecido leve de salinidad por lavado de materiales evaporíticos de la cuenca. Los contenidos en Cl, en este caso, rondan los 40 mg/L. Presenta facies del tipo Na-HCO<sub>3</sub> y ocasionalmente Na-SO<sub>4</sub>. Tienen un valor de  $R = 760 \pm 25$ .

Las fuentes de salinidad natural son (Fig. 1):

- Aguas recientes holocenas de la época pre y post-industrial y aguas del cuaternario antiguo con largo tiempo de residencia afectadas por procesos industriales (presencia de metales pesados en muchos casos) y con una hidroquímica similar al fondo del acuífero, grupo de muestras anterior (CO+I). Presentan contenidos en Cl entre 50 y 60 mg/L, superiores a los valores de fondo del acuífero, y mayoritariamente facies del tipo Na-HCO<sub>3</sub>. Tienen un valor de  $R = 755 \pm 60$ , algo superior al valor de fondo del acuífero.
- Aguas afectadas por actividades urbanas, principalmente por vertidos industriales, posible presencia de escombros y presencia de aguas residuales urbanas (CO+U). Se localizan al S y E de la ciudad de Aveiro, donde existen polígonos industriales. Los contenidos en Cl son muy variables dependiendo de la ubicación de las muestras dentro del acuífero, pero en general se pueden encontrar cantidades de Cl que superan los 300 mg/L. Presenta principalmente

facies de tipo Na-Cl. Tienen un valor de  $R = 1060 \pm 60$ .

- Aguas de recarga recientes afectadas por afección antrópica urbana y/o industrial (RE+I). Presentan principalmente facies de tipo Ca-HCO<sub>3</sub>, contenidos en Cl en torno a 35 mg/L, similar a las del grupo RE. Tienen un valor de  $R = 570 \pm 100$ , superior al valor de R obtenido para aguas de recarga no afectadas por procesos antrópicos (RE) y algo superior al valor de R para la lluvia colectada en la ciudad de Aveiro.

- Aguas de recarga recientes afectadas por retorno de riegos derivados de la actividad agrícola (RE+A). Presentan principalmente facies de tipo Ca-HCO<sub>3</sub>, contenidos en Cl en torno a 35 mg/L, similar a las del grupo RE. Tienen un valor de  $R = 400 \pm 130$ , algo inferior al valor de R obtenido para aguas de recarga no afectadas por procesos antrópicos e inferior al valor de R para la lluvia colectada en la ciudad de Aveiro.

Se ha estudiado la relación rCl/rBr del agua (deposición total atmosférica) (LLU), durante 3 años, en 3 estaciones a diferente cota y distancia al mar (Tabla 1). La estación de Aveiro, más próxima al mar y a cota más baja, tiene un contenido medio de Cl ~ 5,3 mg/L y un valor de  $R \sim 500$ . Las estaciones de Albergaria a Velha y Oliveira do Bairro, en la zona interior a cota más elevada, tienen contenidos medios de Cl de ~ 3,4 y 3,6 mg/L respectivamente. Sus valores de R son de 345 y 333. El origen de la salinidad de la lluvia es principalmente marino, aunque se observa cierta componente antrópica (Condeso de Melo, 2002).

---

#### Discusión:

Dentro del funcionamiento general del acuífero cretácico de Aveiro se produce un aumento de la salinidad desde la zona de recarga hacia la zona de descarga debido al incremento del tiempo de residencia del agua en el acuífero y lavado de sedimentos pelíticos y aguas marinas antiguas atrapadas en los sedimentos, produciéndose además un cambio en las familias hidroquímicas existentes.

La infiltración de agua de lluvia constituye la principal recarga al sistema, siendo esta de origen atlántico. El valor de  $R = 500$  del agua de lluvia en Aveiro (zona llana y próxima a la costa) es algo inferior al marino. En las zonas de interior, donde se asientan actividades industriales y urbanas, el valor de R es de ~ 350.

Las aguas de recarga presentan facies Na-HCO<sub>3</sub> y Ca-HCO<sub>3</sub>, y presentan valores de R que se adecuan muy bien a los valores de R obtenidos para el agua de lluvia. Las muestras de aguas de recarga estudiadas al N de Aveiro tienen un valor de  $R = 500 \pm 30$ , igual al presentado por el agua de lluvia de la zona. Las muestras de aguas de recarga tomadas en el interior tienen un valor de  $R = 370 \pm 20$  levemente superior al que presenta el agua de lluvia muestreada en el interior. La existencia de vertidos urbanos e industriales difusos en la zona de acuífero libre no modifican sustancialmente el contenido de Cl, pero si aumentan el valor de R ( $570 \pm 100$ ). La causa podría ser la adición de halita de uso doméstico o la presencia de algunas sales de origen industrial (e.g. SO<sub>4</sub>Ba en industrias papeleras). El retorno de riego (presencia de NO<sub>3</sub>), no modifican sustancialmente el contenido en Cl pero si disminuyen el valor de R ( $R = 400 \pm 130$ ), pudiendo estar asociado al uso de ciertos herbicidas que

incluyen compuestos bromurados.

La salinidad de las aguas que constituyen el fondo regional del acuífero confinado se caracterizan por el incremento de Cl hacia el mar y en profundidad, siguiendo el flujo principal del acuífero. El fondo regional del acuífero confinado presenta un valor de  $R = 640 \pm 40$ , similar al valor marino. El incremento de la salinidad hacia las zonas distales del acuífero es pequeño, pero genera un valor de  $R = 760 \pm 25$ . Esta agua antiguas, actualmente equilibradas con el medio, debieron lavar sales evaporíticas presentes en los materiales pelíticos (Condesso de Melo, 2002). Las zonas más profundas y distales del acuífero confinado presentan aguas del Cuaternario antiguo de largo tiempo de residencia. Su contenido en Cl es levemente superior al valor de fondo del acuífero pero su valor de  $R = 810 \pm 80$  es claramente superior.

Algunos niveles acuíferos en zonas próximas al mar están afectados por intrusión marina. Estas aguas son siempre del tipo Na-Cl, presentan altos contenidos en Cl y tiene un valor de  $R = 655 \pm 60$ .

Condesso de Melo (2002) describe la presencia de contaminantes de diverso tipo asociados a la actividad industrial y/o urbana en diferentes zonas del acuífero, principalmente al S y E de la ciudad de Aveiro. Dichas actividades aumentan el contenido de Cl respecto de los valores de fondo regional. La actividad industrial genera lixiviados que aumentan levemente el contenido en Cl de las aguas, no dejando de ser aguas del tipo Na-HCO<sub>3</sub>; tipo de agua mayoritaria en el acuífero. Muestras con signos evidentes de contaminación y presencia de metales pesados tienen un valor de  $R = 755 \pm 60$ , superior al valor de fondo del acuífero. La existencia de lixiviados de aguas residuales urbanas y/o residuos sólidos urbanos al S y E de la ciudad de Aveiro, provoca contenidos de Cl superiores al valor de fondo del acuífero y un valor de  $R = 1060 \pm 60$ . Algunas muestras estudiadas presentan contenidos apreciables de metales pesados (Ni, Al, As, Fe, Cu, Ba, Cr), SO<sub>4</sub>, Mn, PO<sub>4</sub> y NO<sub>3</sub>.

---

#### Conclusiones:

Al agua de lluvia constituye la principal fuente de recarga al sistema. En la zona costera  $R = 500$ , mientras que el agua de recarga de la zona tiene un valor de  $R = 500 \pm 30$ . El agua de lluvia en el interior tiene un  $R \sim 350$ , mientras que el agua de recarga tiene un  $R = 370 \pm 20$ . En esta zona se constata polución atmosférica y emisiones industriales a la atmósfera que parecen disminuir el valor de R del agua de lluvia. El agua de recarga natural en esta zona suele estar levemente afectada por procesos antrópicos (actividad urbana, industrial y agrícola). Aguas de recarga claramente afectadas por procesos industriales y urbanos tienen un valor de  $R = 570 \pm 100$ , mientras que las actividades agrícolas disminuyen el valor de R ( $R = 400 \pm 130$ ).

En el acuífero se produce un leve aumento de la salinidad desde la zona de recarga hacia la zona de descarga debido al incremento del tiempo de residencia del agua en el acuífero y lavado de sedimentos pelíticos y aguas marinas antiguas atrapadas en los sedimentos. Se produce un aumento de  $R = 640 \pm 40$  para aguas que constituyen el fondo regional a  $R = 760 \pm 25$  para aguas más distales y  $R = 810 \pm 80$  para aguas antiguas, más profundas y algo más salinas. Las aguas de niveles costeros afectados por intrusión marina tienen un valor de  $R = 655 \pm 60$ .

Las aguas afectadas por contaminación de origen industrial han dado un valor de  $R = 755 \pm 60$ . Aguas afectadas por lixiviados de aguas residuales urbanas y/o residuos sólidos urbanos han dado un valor de  $R = 1060 \pm 60$ . Ambos tipos de muestras presentan contenidos en Cl superiores al valor de fondo del acuífero.

---

Acciones:

En esta zona ha quedado caracterizado el valor de R.

---

Referencias específicas:

- Carreira Paquete, P.M.M. (1998). *Paleoáguas de Aveiro*. Tesis Doctoral. Univ. de Aveiro. 377 pp.
- Carreira Paquete, P.M.M., Soares, A.M.M., Marques da Silva, M.A., Araguás, L.A., Rozanski, K. (1996). Application of environmental isotope methods in assessing groundwater dynamics of an intensively exploited aquifer in Portugal. *Isotopes in Water Resources Management*, 2: 45-58.
- Condesso de Melo, M.T. (2002). *Flow and hydrogeochemical mass transport model of the Aveiro Cretaceous multilayer aquifer (Portugal)*. Tesis Doctoral. Univ. de Aveiro. 368 pp.
- Condesso de Melo, M.T., Carreira Paquete, P.M.M., Marques da Silva, M.A. (2001). Evolution of the Aveiro Cretaceous aquifer (NW Portugal) during the Late Pleistocene and present day: evidence chemical and isotopic sdata. In: Edmunds, W.M. & Milne, C.J. (eds). *Paleowaters in Coastal Europe: evolution of groundwater since the late Pleistocene*. Geological Society, London, Special Publications, 189: 139-154.
- Condesso de Melo, M.T., Cabano, G., Marques da Silva, M.A. (2002). Evolução hidrogeoquímica do sistema multiaquífero Quaternário de Aveiro. Proceedings 6º Congresso da Água, Porto, 18-22 (III). CD-Rom.
- Ferreira, P.L.O. (1995). Hidrogeología do Quaternário da região Norte da Ria de Aveiro. Tesis de Master. Univ. de Aveiro. 102 pp.
- Marques de Silva, M.A. (1990). Contribuição para o calculo da recarga natural do sistema aquífero Cretácico de Aveiro. Graduación de Proyecto de Investigación. Univ. de Aveiro. 104 pp.



## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

### **VARIOS ACUÍFEROS DE ALICANTE**

Fecha de muestreo: marzo 2001

Muestreador: Javier Lambán (Oficina del IGME en Murcia)

Descripción: Javier Lambán

Comentarios: Javier Lambán, Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: octubre 2002

Organismos 1: IGME

Objetivos:

- Determinación del valor de rCl/rBr en muestras afectadas por intrusión marina el acuífero terciario de Torrevieja (Alicante) y muestras de pozos de desalinizadoras en la Unidad de la Vega media-baja del Segura.

Características del muestreo: Muestreo mediante tomamuestras en pozos.

Características del acuífero: El acuífero terciario de Torrevieja (Alicante) está compuesto por areniscas del Plioceno. Presenta un espesor medio de unos 70 m. Está delimitado al sur por la falla de río Seco, al norte y oeste por el nivel impermeable margoso del Andaluciense y al este por el mar Mediterráneo. Su extensión es de ~ 61 km<sup>2</sup>. Su recarga por infiltración de la lluvia supone ~ 1,4 hm<sup>3</sup>/año y por retornos de riego ~ 0,2 hm<sup>3</sup>/año. Las descargas se realizan por bombeos (~ 7,4 hm<sup>3</sup>/año). Estos datos han sido tomados de ITGE (1994).

También se ha estudiado una muestra de un pozo de explotación de la Planta de Osmosis Inversa Hondón de Los Frailes que capta agua del acuífero triásico de las Victorias en la Unidad de la Vega media-baja del Segura, en mármoles, calizas y calcarenitas terciarias (ITGE-DGOHCA, 1999). El agua es sulfatada-cálcica y clorurada-sódica.

Comprobaciones buscadas: Caracterizar el valor de rCl/rBr en el acuífero de Cabo Roig, en el que existe intrusión marina.

Tabla 1. Resultados obtenidos

Clave Muestra	Prov.	Ident. Lab.	T. Munc. / Paraje	Topónimo	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Laboratorio	Br-(mg/l)	Cl-(mg/l)	rCl/rBr
murcia-1	MU	01/297-01	Cabo Roig	2837200114	PSB	TMS	10-may-01	IGME	31,42	9313	667
murcia-2	MU	01/297-02	Cabo Roig	2837200114	PSB	TMS	10-may-01	IGME	3,82	1044	615
murcia-3	MU	01/297-03	Punta Prima	2837200115	PSB	TMS	10-may-01	IGME	42,58	12484	660
MURCIA 2	MU	01/616-02	Hondon Frailes		PB	MBP	26-nov-01	IGME	0,586	712	2734

#### CLAVES CAPTACIÓN

Pozo en Bombeo PB  
Pozo sin Bombeo PSB

#### CLAVES MET. MUESTREO

Muestra de Bombeo de Pozo MBP  
Tomamuestras Sumergible TMS

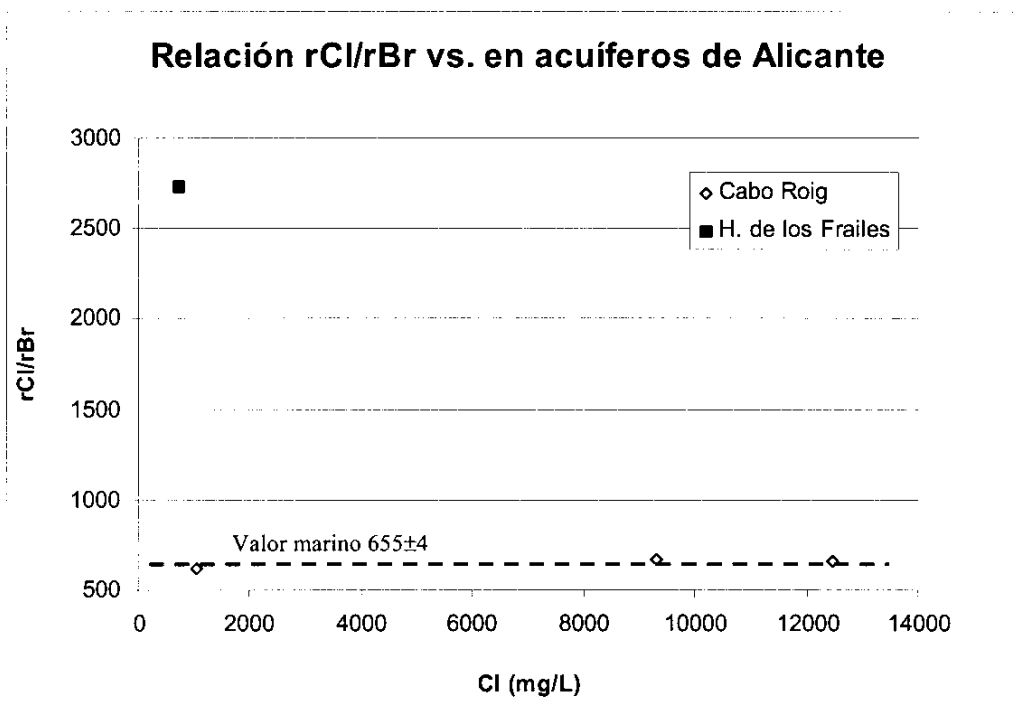


Figura 1. Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de analítica de elementos principales, inventario de puntos de muestreo y características geográficas, geológicas e hidrogeológicas.

---

#### Resultados:

Se ha muestreado en 2 pozos a diferente profundidad (Fig. 1), en los tramos determinados con intrusión marina en estudios anteriores (IGME, 1994). Los dos puntos se localizan en una zona media del acuífero respecto de la franja costera. Los valores de  $rCl/rBr$  obtenidos oscilan en torno a 655 (valor típico marino).

La muestra de un pozo de la desalinizadora Hondón de los Frailes (Fig. 1), tomada en materiales triásicos de la Unidad de la Vega media-baja del Segura presenta un valor de  $R = 2734$  y un contenido de  $Cl$  moderado. No está afectada por intrusión marina.

---

#### Discusión:

Las muestras estudiadas de la interfaz agua dulce salada presentan un valor de  $R$  en torno al típico marino, variando su contenido de  $Cl$  en función de la cantidad de mezcla producida. La muestra con menor cantidad de mezcla presenta un valor de  $R$  levemente inferior al valor típico marino, posiblemente relacionado con el valor de  $R$  del agua dulce del acuífero.

La salinidad de la muestra Hondón de los Frailes está asociada a disolución de

evaporitas triásicas.

---

Conclusiones:

Los valores obtenidos de  $rCl/rBr$  en la zona de mezcla y zona de intrusión marina del acuífero de Cabo Roig son muy próximos al valor marino. Sucede lo esperable.

La salinidad del agua originada por disolución de evaporitas de este acuífero ha dado un valor de  $R = 2734$ .

---

Acciones:

La fase de muestreo ha concluido. No se necesita seguir muestreando.

---

Referencias específicas:

ITGE (1994). Las aguas subterráneas del Campo de Cartagena (Murcia).

ITGE-DGOHCA (1999). Programa de actualización del inventario hidrogeológico (P.A.I.H.). Análisis del conocimiento actual. Evaluación y programación de estudios en las cuencas intercomunitarias.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**CAMPO DE DALÍAS Y SIERRA DE GÁDOR (Almería)**

Fecha de muestreo: mayo 2001

Muestreador: Patricia Domínguez (IGME, Almería)

Descripción: Emilio Custodio y Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Patricia Domínguez, Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización : febrero 2003

Organismos 1: IGME

Objetivos:

- Se quiere caracterizar el valor de la relación  $rCl/rBr$  en dos pozos del acuífero del Campo de Dalías afectados por intrusión marina y aguas residuales, y en algunos manantiales y pozos de la Sierra de Gádor.

Características del muestreo: bombeo en pozos a diferente profundidad (Campo de Dalías) y mediante recipiente en manantiales de Sierra de Gádor.

Características del acuífero: El subsistema Noreste de la Sierra de Gádor-Acuíferos de la cuenca del Andarax constituye un sistema de acuíferos carbonatados triásicos. Presenta salinidades moderadas en su ladera norte, en la que se explotan numerosos sondeos y en la que existen diversas surgencias y manantiales explotados en galerías (Domínguez *et al.*, 1988).

El subsistema Noreste de la Sierra de Gádor-Campo de Dalías está constituido por un conjunto de unidades acuíferas de alta complejidad estructural y conectados entre sí y con el mar. Algunos subacuíferos están afectados por intrusión marina en gran parte de su extensión costera, en otros puntos por contaminación derivada del uso de fertilizantes e insecticidas en la actividad agraria y vertidos urbanos. Está sometido a una importante explotación. Se han distinguido diferentes unidades hidrogeológicas con características geométricas, hidroquímicas, etc. bien diferenciadas (Domínguez y González-Asensio, 1995; Domínguez *et al.*, 1988; Domínguez, 2000).

Comprobaciones buscadas: Determinar los valores de  $rCl/rBr$  de las muestras estudiadas.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Los análisis se han realizado en el laboratorio del IGME.

Clave Muestra	Ident. Lab.	T. Munic./Paraje	Topónimo	Captación	N. Muestreo	F. Muestreo	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/rBr	Comentario
22445128(01)	01/092-01	El Ejido	711D	PB	MPB	may-01	1,708	486	640	AIO
22445128(02)	01/092-02	El Ejido	711D	PB	MPB	may-01	1,716	480	630	AIO
224430237(01)	10/045-01	Vicar	160VC	PB	MPB	may-01	0,478	143	675	AIN
224430237(02)	10/045-02	Vicar	160VC	PB	MPB	may-01	2,813	827	662	AIN
272/1		Celín	Manantial de Celín	MAN	REC	may-01	0,012	3,3	621	MS
272/2		Alhama de Almería	Sondeo de Alhama	SP	TMS	may-01	0,050	11,2	502	MNCA
272/6		Laujar de Andarax	Gal. Nacimiento del Andarax	GAL	REC	may-01	0,016	4,0	569	MNCA
272/7		Ohanes	Esc. Sup. Bco. Ohanes	AS	REC	may-01	0,019	4,3	517	MNCA
272/3		Beires	Galería Fuente de Beires	GAL	REC	may-01	0,006	3,5	1428	MNCB
272/4		Beires	Galería Fuente de Beires	GAL	REC	may-01	0,019	6,5	755	MNCB
272/5		Beires	Galería Fuente de Godoy	GAL	REC	may-01	0,006	3,3	1190	MNCB
Lluvia Adra	03/186-12	Centro Urbano	Adra	AL	REC	27-dic-02	0,037	22,0	1324	LLU

AIN: Acuífero Inferior Noreste  
 AIO: Acuífero Inferior Occidental  
 MNCA: Manantiales situados en la vertiente norte de Sierra de Gádor a cota baja  
 MNCB: Manantiales situados en la vertiente norte de Sierra de Gádor a cota alta  
 MS: Manantiales situados en la vertiente sur de Sierra de Gádor  
 LLU: Período de lluvia 10-27 de 12 de 2002. Tomada en el centro urbano

**CLAVES CAPTACIÓN**  
 Sondeo Puntual SP  
 Pozo en Bombeo PB  
 Manantial MAN  
 Galería GAL

**CLAVES MET. MUESTREO**  
 Muestra de Bombeo de Pozo MBP  
 Tomamuestras Sumergible TMS  
 Recipiente REC

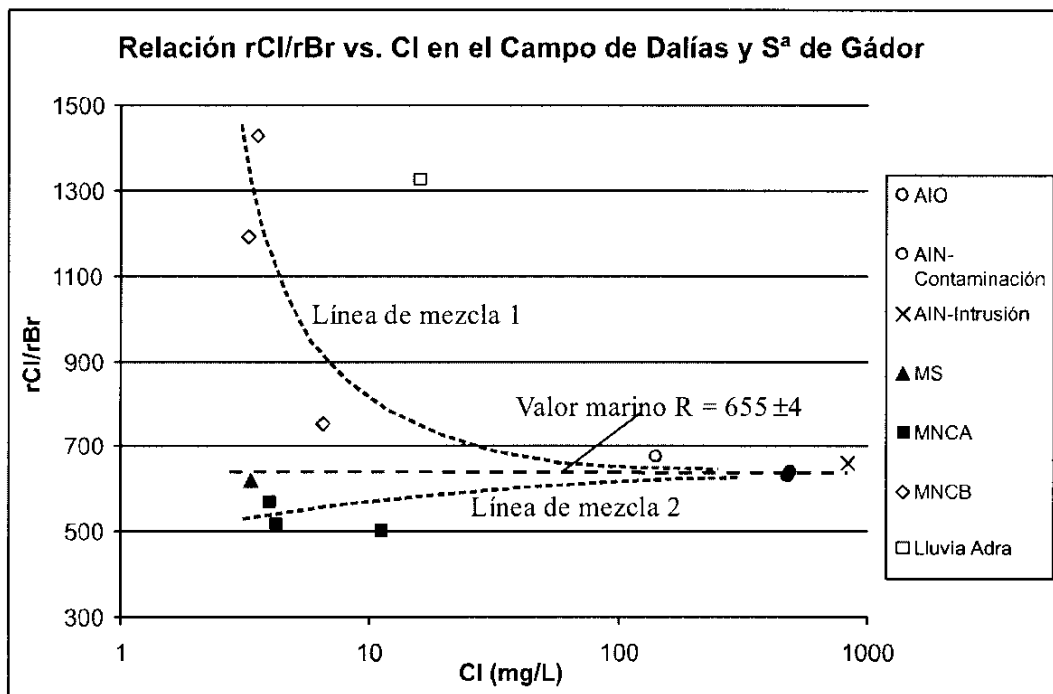


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl. Las claves se describen en la Tabla 1

## Otros datos y gráficas:

No se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios ni minoritarios.

---

## Resultados:

En el Campo de Dalías se ha realizado un muestreo en un pozo multiranurado (160CV) del Acuífero Inferior Noreste (AIN) que capta aguas de un nivel superior colgado, posiblemente algo afectadas por vertidos de aguas residuales ( $R = 675$ ) y en el tramo profundo afectado por intrusión marina ( $R = 662$ ). También se han tomado 2 muestras (a diferentes tiempos de bombeo) en un pozo 771D del Acuífero Inferior Occidental (AIO) afectado por intrusión marina ( $R = 630$  y  $640$ ) (Tabla 1).

Se ha tomado muestra en 6 manantiales y 1 pozo en la zona Nororiental de la Sierra de Gádor (ver Tabla 1) a diferente cota, con valores de rCl/rBr entre 450 y 800, aunque existen dos muestras con valores superiores a 1000. Sus concentraciones de Cl son inferiores a 10 mg/L.

Se ha tomado una muestra de deposición total atmosférica acumulada, que incluye varios eventos de lluvia y deposición de polvo atmosférico, durante los días 10-27 de diciembre de 2002 en el núcleo urbano de la localidad de Adra (a cota 30 m y a 500 m del mar) presenta un contenido de Cl = 22 mg/L y un valor de  $R = 1324$  (Tabla 1).

---

## Discusión:

Los manantiales y sondeos a cota elevada de la ladera norte de Sierra de Gádor (MNCB) presentan valores de  $R \sim 550$  (Ohanes, Sondeo de Alhama, Galería de Andarax) y se asocian a la precipitación caída a cota elevada en la Sierra de Gádor ( $\sim 700$  mm/año), de moderada variación interanual (Martín-Rosales *et al.*, 1996) y procedencia atlántica por el Norte. El manantial de Celín, de régimen anual y en la ladera sur, presenta un valor de  $R = 621$ , asociado a lluvia producida a cota elevada donde domina el aerosol marino de origen oceánico (Vallejos *et al.*, 2001). Este valor de  $R$  es algo inferior al observado en el pozo 771D (AIO) del Campo de Dalías (Fig. 1).

El resto de puntos con valores de  $R$  superiores a 700 se sitúan en la ladera norte pero a cota más baja que los anteriores. La precipitación anual media en esta zona es inferior y muy variable ( $\sim 300$  mm/año) según Martín-Rosales *et al.* (1996). El valor de  $R$  entre 1200 y 1400 puede estar controlado por efecto climático árido, que suele generar valores de  $R$  superiores a los producidos en lluvias de origen oceánico. Se indica que el valor de  $R$  en el pluviómetro instalado en la Univ. de Almería por el IGME a cota 20 m y a 200 m de la línea de costa presenta un valor de  $R \sim 1600$  para un periodo de muestreo de 18 meses (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205), superior a los valores de  $R$  obtenidos en estos manantiales situados a cota baja. La muestra de deposición total acumulada tomada en el núcleo urbano de la localidad costera de Adra ha dado un valor de  $R \sim 1300$ , que es coherente con los valores de  $R$  obtenidos en manantiales a cota baja. No se descarta la posibilidad de cierta afección antrópica por vertidos de halita de uso doméstico en estos manantiales (Fig. 1).

La muestra afectada por intrusión marina tomada en el punto 160CV presenta un valor de  $R = 662$ , que es lo esperable. La muestra tomada en el tramo superior algo afectada por contaminantes agrícolas y leve presencia de aguas residuales muestra un valor de  $R = 672$ , algo superior al anterior (Fig. 1). Las muestras tomadas a diferentes tiempos de bombeo en el punto 771D (puntos del AIO) muestran valores de  $R = 640$  y  $630$ , próximos al valor marino.

---

#### Conclusiones:

Las muestras de manantiales a cota elevada del subsistema Sierra de Gádor-Cuenca del Andarax presentan valores de  $R \sim 500-600$ , asociados a un agua de lluvia recargada a cota elevada de origen atlántico. A cota más baja los valores de  $R$  están entre 700 y 1400 y se asocian a una recarga por agua de lluvia con efecto climático árido ( $R \sim 1600$  para la deposición total en Almería y  $R \sim 1300$  para una muestra de deposición total acumulada en Adra), no descartándose cierta afección por presencia de aguas residuales, o ambos casos conjuntamente.

Las muestras del pozo 771D (AOI) y una del pozo 160CV (AIN-Intrusión) del Campo de Dalías están afectadas por intrusión marina. El pozo 160CV presenta un  $R = 662$ , que es lo esperable, mientras que el pozo 771D tiene un  $R = 630-640$ , algo inferior al marino, aunque asociable a la mezcla con agua dulce (línea de mezcla 2). Una muestra del pozo 160CV, algo afectada por aguas residuales presenta un  $R = 675$ , algo superior al valor marino y asociable a mezcla con aguas de recarga a cota baja (línea de mezcla 1).

---

#### Acciones:

Para la zona de Sierra de Gádor puede considerarse concluido el estudio. En cambio el acuífero del Campo de Dalías el número de muestras es escaso, ya que se podría haber identificado el valor de  $R$  para aguas contaminadas por fertilizantes, procesos de evaporación en lagunas costeras, salinas en explotación, etc.).

---

#### Referencias específicas:

- Domínguez, P. (2000). Funcionamiento hidrogeológico y mecanismos de intrusión marina en sistemas carbonatados de estructura compleja: aplicación al Acuífero inferior Noreste (AIN) del Campo de Dalías. ITGE-DET de la UPC. Tesis Doctoral (inédita).
- Domínguez, P., Franqueza, P.A. (1998). Síntesis hidrogeológica del Campo de Dalías y su entorno. *TIAC'88*. Vol. II, IGME-ETSMIN, Granada: 96-114.
- Domínguez, P. y González-Asensio, A. (1995). Situación de los acuíferos del Campo de Dalías (Almería) en relación con su declaración de sobreexplotación. *Hidrogeología y Recursos Hidráulicos*, XXI. Madrid-Sevilla: 455-474.
- HID 1999-0205 (2003). *Estudio de la deposición total atmosférica obtenida en la red de muestreo del IGME en diversas zonas de España*. Informe nº 6. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 41 pp.

- Martín Rosales, W., Pulido Bosch, A. y Vallejos, A. (1996). Algunos aspectos climatológicos de la Sierra de Gádor y Campo de Dalías (Almería). *IV SIAGA*. Vol. I, 69-80. Almería.
- Vallejos, A., Gisbert, J., Sánchez Martos, F., Molina, L., Pulido Bosch, A. y Martín Rosales, W. (2001). Sobre la composición isotópica del agua de lluvia en Sierra de Gádor (Almería). *Geogaceta*, 29, 139-141.



## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

### **ACUÍFEROS ALUVIALES DE DEHESAS DE GUADIX (Granada)**

Fecha de muestreo: enero 2001

Muestreador: María Ángeles Fernández (IGME, oficina de Almería)

Descripción: Luis Moreno, María Ángeles Fernández

Interpretación: Luis Moreno, Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Revisión: Emilio Custodio

Fecha de finalización: febrero 2003

Organismos 1: IGME (Oficina de Almería)

Objetivos:

- Determinar el valor de la relación rCl/rBr de muestras que están afectadas por la presencia de aguas residuales urbanas.

Características del muestreo: se ha muestreado en pozos mediante bombeo.

Características del acuífero: La zona de estudio está situada en el acuífero aluvial del río Guadahortuna que totaliza una superficie de 11 km<sup>2</sup>. Está constituido fundamentalmente por formaciones detríticas del Holoceno, teniendo como impermeable de base las margas del Tortoniense (Vera, 1970). En su conjunto se puede considerar como un acuífero libre, si bien aparecen excepcionalmente sectores donde la zona saturada está levemente confinada por algunos niveles de materiales arcillo-limosos. Su alimentación se produce por infiltración del agua de lluvia a través de los arroyos tributarios. Además se contabilizan aportes subterráneos desde el Cerro de Alicún, por escorrentía superficial de la cuenca vertiente al aluvial, retornos de riegos, infiltración de aguas residuales procedentes de los núcleos de Alicún de Ortega y Dehesas de Guadix (ITGE-CHG, 1996; Moreno *et al.*, 2000). No existen surgencias naturales, produciéndose las descargas a través de manantiales termales de poca entidad (Delgado-Moya *et al.*, 1983). El entorno regional es eminentemente agrícola.

Comprobaciones buscadas: Determinar e interpretar el valor de rCl/rBr de cada muestra.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Las muestras se ha analizado en el laboratorio del IGME

Clave Muestra	Cód. Lab.	T. Muec. / Paraje	Topónimo	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/Br
Modelo-3	01/001-03	Dehesas Guadix	Piezómetro	SMR	TMS	09-ene-01	1,41	276	440
Modelo-7	01/001-07	Dehesas Guadix	Sondeo particular	PB	MBP	09-ene-01	1,12	258	518
Brom. Secretario	01/001-09	Dehesas Guadix	Ayuntamiento	PB	TMS	09-ene-01	28,51	5163	407

#### CLAVES CAPTACIÓN

Sondeo Multiranurado  
Pozo en Bombeo

SMR  
PB

#### CLAVES MET. MUESTREO

Muestra de Bombeo de Pozo  
Tomanuestras Sumergible

MBP  
TMS

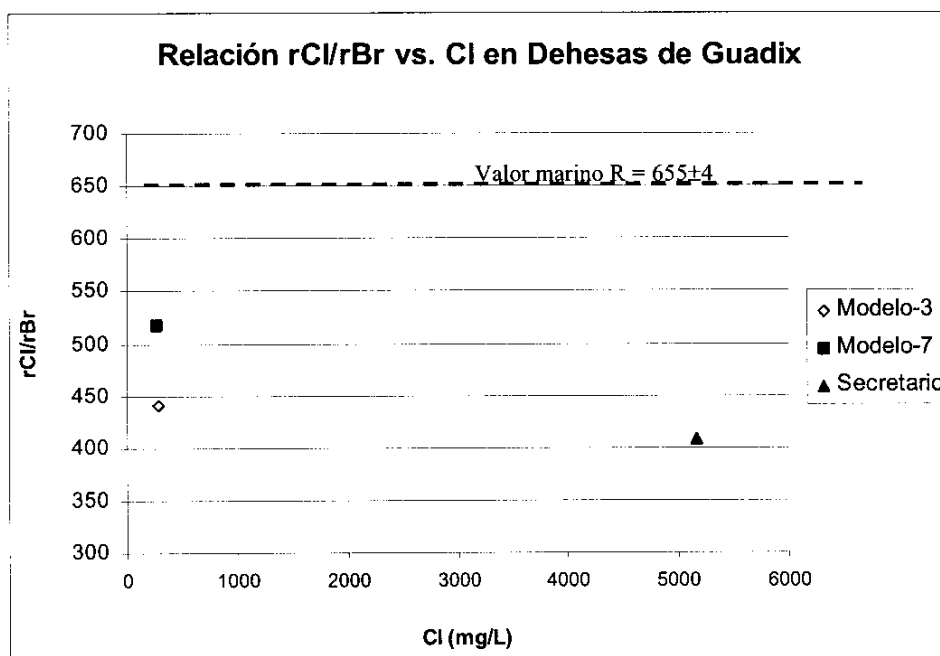


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios y minoritarios. Se adjunta el análisis químico de la muestra Secretario.

Clave Muestra	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	SiO <sub>2</sub> (mg/L)	DQO	pH	C.E. (S/cm)	Na+(mg/L)	K+(mg/L)	Ca+2 (mg/L)	Mg+2 (mg/L)
Brom. Secretario	28,51	5163,41	30,6	27,1	7	31988	4160	140	718	1014
	SO <sub>4</sub> -(mg/L)	CO <sub>3</sub> H-(mg/L)	NO <sub>3</sub> -(mg/L)	PO <sub>4</sub> -3(mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	Fe+2 (mg/L)	Cu+2 (mg/L)	Zn+2 (mg/L)	B+3 (mg/L)	
	3300	688	740	0,06	0	0	0,05	0	2,31	

#### Resultados:

La muestra modelo-7 se ha tomado en el aluvial del río Guadartuna, cuyas aguas están afectadas por vertidos de aguas residuales de localidades situadas aguas arriba (R = 518). La muestra modelo-3 se ha tomado en una terraza superior al aluvial anterior sin ningún proceso conocido que pudiera modificar su salinidad natural (R = 440). La muestra secretario se ha tomado en esta misma terraza (R = 407), aunque este sondeo, ahora abandonado, captó aguas afectadas por las antiguas letrinas de la localidad y presencia de escombros. Su contenido en Cl es de 5163 mg/L y su química, que indica un estado muy oxidado, es característica de aguas afectadas por vertidos de este tipo (presencia de nitratos, fosfatos, algunos metales...). Se acompaña el análisis químico de esta muestra.

#### Discusión:

La salinidad del río Guadartuna aumenta cuando disminuye su caudal. El valor

de R = 518 de la muestra modelo-7 se asocia a la salinidad natural, la generada por vertidos de aguas residuales y los retornos de riegos (escasos al utilizarse en la actualidad riego por goteo). El valor de R = 440 de la muestra modelo-3 se asocia a un agua de recarga local no afectada por ningún proceso de contaminación conocido. El valor de R = 407 de la muestra secretario está asociado a la presencia de aguas afectadas por lixiviados de las antiguas letrinas de la localidad, según comentarios de los lugareños y el análisis químico disponible de la muestra. Se trata de un agua muy oxidada.

---

#### Conclusiones:

La muestra secretario, afectada por lixiviados de aguas residuales, corresponde a un agua muy oxidada que ha dado un R = 407. La muestra modelo-7 se asocia al agua del aluvial del Guadartuna y dado un R = 518. La muestra modelo-3 se asocia al agua de recarga local (R = 440).

---

#### Acciones:

La zona ha quedado caracterizada y no se seguirá muestreando.

---

#### Referencias específicas:

- Delgado Moya, S., del Valle Cardenete, M. y Fernández Racionero, E. (1983). *Problemática y gestión de los recursos de agua subterránea en la región de Guadix (Granada)*. III Simp. de Hidrogeología. Vol: VII: 173-177.
- ITGE-CHG (1996). *Modelo matemático de flujo de la Unidad Hidrogeológica 05.12, Guadix-Marquesado (Granada)*. 158 pp. (informe interno).
- Moreno, L., Liquiñano, M.C., Rubio, J.C. y Murillo, J.M. (2000). Eliminación de aguas residuales urbanas mediante filtración directa sobre el terreno. Impacto sobre el sistema solución del suelo-agua subterránea. *Bol. Geol. Min. Esp.* 111(5): 47-62.
- Vera, J. A. (1970). Estudio estratigráfico de la depresión Guadix-Baza. *Bol. Geol. Min. Esp.* 81(5):429-462.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**LAGUNA DE FUENTE DE PIEDRA (Málaga)**

Fecha de muestreo: abril 2001

Muestreador: Técnicos del IGME (Oficina de Granada)

Descripción: Juan Carlos Rubio

Comentarios: Juan Carlos Rubio, Francisco Javier Alcalá

Observaciones sobre datos isotópicos complementarios: José Benavente, Miguel Rodríguez (IAA)

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: marzo 2003

Organismos 1: IGME

2: Instituto Andaluz del Agua (IAA)

Objetivos:

- Determinar los valores de la relación  $rCl/rBr$  en algunas muestras tomadas en la proximidad de esta laguna y cuyo origen de la salinidad ha sido resuelto en trabajos previos.

Características del muestreo: Especificado en la tabla que se adjunta.

Características del acuífero: En el área muestreada afloran principalmente el complejo alóctono del Triás de Antequera, compuesto por materiales arcillosos en facies germánicas, materiales calcáreo-margosos jurásicos que conforman los relieves más importantes y materiales neógenos carbonatados detríticos al Sur (Peyre, 1974; Alcalá-García *et al.*, 2001). La laguna endorreica de Fuente de Piedra se desarrolla a partir de la karstificación de las evaporitas presentes en los materiales del Triás de Antequera (Benavente *et al.*, 1994). La recarga al sistema proviene de aportes laterales provenientes de los relieves materiales calcáreos jurásicos y miocenos y de los depósitos coluviales y aluviales cuaternarios hacia la zona deprimida lagunar. La abundancia de sales y las condiciones climáticas de la zona favorecen la existencia de aguas salobres (Cruz-Sanjulián, 1974), con predominio de dos facies hidroquímicas: clorurada sódica y sulfatada cálcica. La salinidad local puede estar relacionada con un flujo regional que lave sales de los materiales del substrato triásico. Así el sistema está compuesto por un flujo superficial de agua dulce (Mioceno, Cuaternario y Jurásico), unas posibles aportaciones del sustrato triásico, no definidas, una cuña salada en relación con la salmuera de la laguna producida por evapoconcentración, que avanza o retrocede hacia los bordes dependiendo de las características del año hidrológico, existencia de bombeos o condicionantes propios y una zona de transición agua dulce-salada de cierta entidad (Benavente *et al.*, 1994). Se han descrito signos de fraccionamiento isotópico del agua subterránea adyacente a la laguna consecuencia del aporte

de agua superficial afectada por procesos de evapoconcentración hacia la cuña salina más profunda (Almécija, 1997).

Comprobaciones buscadas: Observar los valores de  $rCl/rBr$  en varias muestras.

Tabla 1.- Resultados obtenidos. Todas las muestras han sido tomadas en pozos sin bombeo mediante tomamuestras sumergible

N°	Clave Muestra	Prov.	T. Munic. / Paraje	Topónimo	F. Muestra	Lab.	Br-(mg/l)	Cl-(mg/l)	rCl/rBr	Clave
1	164210072	MA	Fte. de Piedra (1)	Túnel	27-abr-01	IGME	1,900	1101,50	1304	DL (Q)
2	164220323	MA	Fte. de Piedra (2)	Charcón	27-abr-01	IGME	191,850	52725,15	1165	DL (Q)
3	164160015	MA	Fte. de Piedra (3)	Monjas/Rancho de los Enamorados	27-abr-01	IGME	0,885	134,80	343	Triás
4	164220227	MA	Fte. de Piedra (4)	Las Belmontas	27-abr-01	IGME	0,835	267,32	721	D (Q)
5	164220282	MA	Fte. de Piedra (5)	Santillán	27-abr-01	IGME	5,170	1431,90	623	D (Q)
6	164210066	MA	Fte. de Piedra (6)	Cjo. La Panca	27-abr-01	IGME	3,020	1264,60	942	DL' (Q)

DL (Q) Muestra tomada en el detritico adyacente a la laguna de Fuente de Piedra, afectada por evaporación  
 Triás Muestra tomada en los materiales triásicos con evaporitas  
 D (Q) Muestra tomada en aluviales y coluviales cuaternarios sin procesos de evaporación  
 DL' (Q) Muestra tomada en el detritico próximo a la laguna de Fuente de Piedra, posiblemente afectada por evaporación

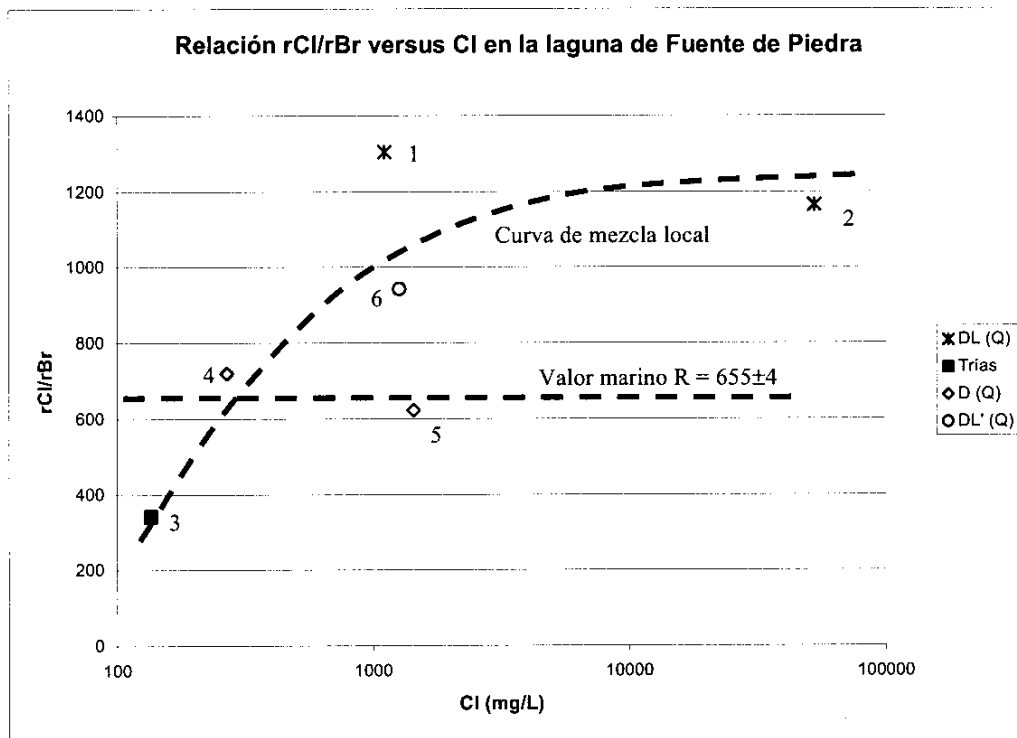


Figura 1.- Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$  (el número de cada punto corresponde al número de orden de la tabla de resultados)

Tabla 2.- Resultados de los estudios isotópicos ambientales ( $\delta^2\text{H}$  y  $\delta^{18}\text{O}$ ) realizados en diferentes campañas por Almécija (1997) para salmueras de la laguna de Fuente de Piedra, piezómetros adyacentes y un manantial cercano

Laguna	Fecha	$^{18}\text{O}$	D	C.E.	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Cl}^-$	$\text{CO}_3\text{H}^-$	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{SO}_4^{2-}$	TSD	Tipo
<b>Reserva Natural Laguna de Fuente de Piedra</b>														
Fuent.Piedr.	mar-91	-1,74	-23,1	67,3	1130	2280	12300	118	27122	168	0	4501	47619	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	may-91	5,28	16,4	108,8	1960	4200	21400	198	49842	221	0	7734	85555	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	jun-91	7	15,5	216	76	42000	70500	1760	165430	1449	0	45340	326555	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	oct-91	-3,6	-25,4	109,1	1660	2275	27600	120	47570	75,7	4	4659	83964	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	feb-92	-1,6	-19,9	130,4	1580	4800	32200	252	59640	99,5	8	5362	103942	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	abr-92	-0,61	-17,8	135,7	1572	6350	36300	248	68160	152	0	7020	119802	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	jun-92	-0,05	-17,2	155,9	1620	5350	42100	264	85200	175	0	6920	141629	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	mar-93	-1,85	-23,4	110	1520	3400	22900	168	51830	46	11	5355	85230	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	may-93	2,97	-0,1	140,3	1800	5120	34500	176	67450	38,4	18,7	8107	117210	Salmuera lagunar
Fuent.Piedr.	mar-94	0,74	-4,1	90	1170	3400	20700	148	44730	53,4	22	4911	75134	Salmuera lagunar
Piez. Fuent.Piedr.	oct-94	-2,5	-36	71	500	1800	13200	62	26836	315	0	1457	44180	Zona de transición
Piez. Fuent.Piedr.	oct-94	-0,8	-29	171	1360	5500	44400	189	92161	274	0	4959	148850	Zona de reflujo
<b>Reserva Natural Lagunas de Archidona</b>														
Manant.Grande	abr-92	-6,69	-45,1	3,01	638	78	95	2,3	135	281	0	1640	2880	Manantial
Manant.Grande	sep-92	-7,05	-47,1	3,01	638	78	95	2,3	135	281	0	1640	2880	Manantial
Manant.Grande	dic-92	-6,51	-45,6	3,01	638	78	95	2,3	135	281	0	1640	2880	Manantial
Manant.Grande	mar-93	-6,68	-48,1	3,01	638	78	95	2,3	135	281	0	1640	2880	Manantial
Manant.Grande	abr-94	-6,8	-42,4	3,01	638	78	95	2,3	135	281	0	1640	2880	Manantial

Isótopos estables en ‰, SMOW, iones en mg/L

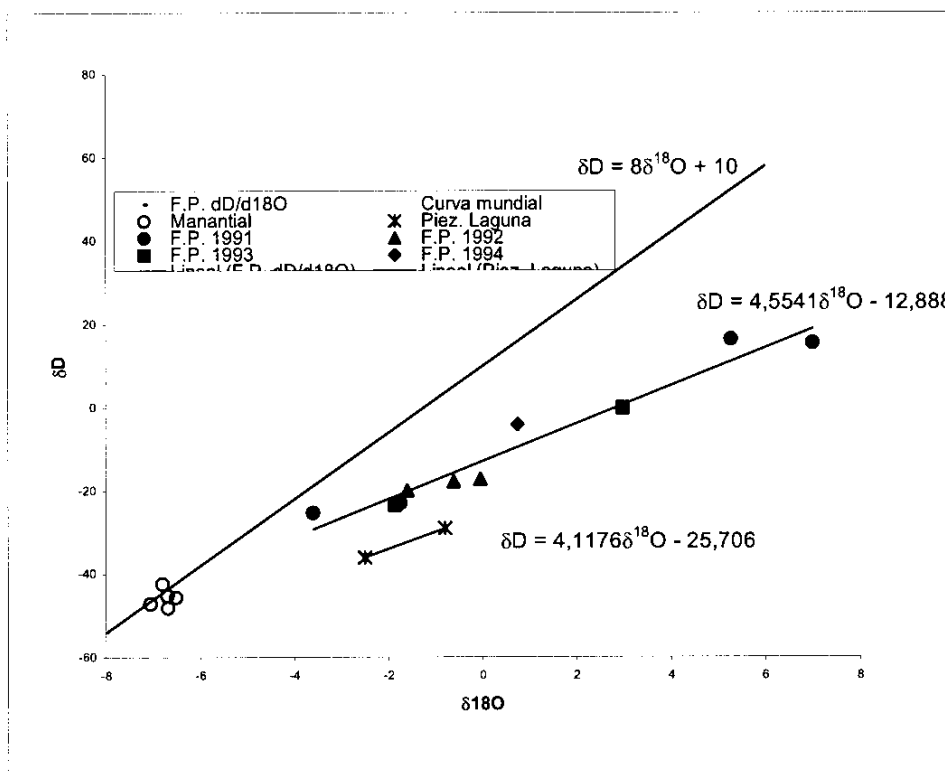


Figura 2.- Representación gráfica del contenido isotópico ambiental de las muestras anteriores. Claves: F.P.: Fuente de Piedra y año de la campaña de muestreo

## Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, inventario de puntos de muestreo y características geográficas, geológicas e hidrogeológicas de la zona.

---

## Resultados:

Se ha realizado un muestreo en 6 pozos en los alrededores de la laguna de Fuente de Piedra (Tabla 1, Fig. 1) con características hidroquímicas conocidas que se describen a continuación.

1. Punto 1. Atraviesa el Cuaternario y llega hasta el Triás. La proximidad de la laguna hace pensar que bajo el agua dulce superficial exista una masa de agua salada, más o menos importante en función de la pluviosidad, extracciones..., extendiéndose 700 m hacia el norte debido a las explotaciones existentes. Se han descrito procesos de evapoconcentración salina que condicionan la existencia de aguas salinas bajo la superficie del terreno, y que condicionan la alta salinidad de la muestra (J. C. Rubio).
2. Punto 2. Igual interpretación que el punto anterior. No llega al Triás.
3. Punto 3. Llega hasta el Triás. Se trata de agua de circulación del acuífero con poca influencia de las sales del substrato triásico y no afectada por procesos de evaporación.
4. Punto 4. Agua captada en los materiales cuaternarios asociada a la circulación del acuífero y afectada por bombeos importantes próximos y nula o escasa influencia de procesos de evapoconcentración.
5. Punto 5. Cuaternario. Aguas propias de circulación del acuífero similares a las anteriores.
6. Punto 6. Sondeo próximo a la laguna (Cuaternario) que capta aguas que pueden estar afectadas por procesos de evapoconcentración.

---

## Discusión:

Las muestras estudiadas se asocian a tres condiciones hidrogeológicas locales que controlan su salinidad. La salinidad de la muestra 3 está asociada al agua de recarga local con escasa o nula disolución de evaporitas en el borde de cuenca ( $R = 343$ ). Muestras de un manantial cercano presentan contenidos isotópicos característicos de agua de lluvia de origen atlántico (Tabla 2, Fig. 2). El agua de lluvia local presenta  $\delta^{18}O = -6,3$  y  $\delta D = -41,3$  (Almécija, 1997). Las muestras 4 y 5 representan aguas de circulación (tránsito) por el aluvial cuaternario y están algo afectadas por disolución de evaporitas y aporte de aguas evapoconcentradas procedentes de la cuña salina que existe bajo la laguna. Muestran signos de fraccionamiento isotópico por evaporación (resultados isotópicos para 1991 a 1994 en Fuente de Piedra, Fig. 2) según Almécija (1997); el valor de  $R = 670 \pm 70$  se sitúa entre el valor obtenido para las aguas próximas a la laguna (muestras 1 y 2) que están afectadas por procesos de evapoconcentración y la muestra 3 (agua freática). La muestra 6, más próxima a la laguna, está más afectada por procesos de evapoconcentración que las muestras 4 y 5; su valor de  $R = 942$ . Por último las muestras 1 y 2, más

próximas a las lagunas y que captan aguas de la cuña salina, muestran una salinidad más alta. La evaporación del agua lagunar durante periodos secos produce la cristalización de halita en los márgenes de la laguna (Alcalá-García *et al.*, 2001), debiendo quedar una salmuera residual en el centro donde se concentra todo el Br, que entra a formar parte de la cristalización de las últimas fases minerales. Cuando se produce una nueva lluvia, lava esta halita de menor contenido en Br y la incorpora a la cuña salina, incrementando el valor de R; su valor de  $R = 1140 \pm 180$  es superior al resto de muestras estudiadas y su contenido isotópico ambiental es de  $\delta^{18}\text{O} = + 10,79$  y  $\delta\text{D} = + 26,0$ , según Almécija (1997).

Los procesos de evaporación, detectados mediante estudios isotópicos, condicionan la precipitación de halita en los bordes de la laguna y su lavado posterior al acuífero por la lluvia (muestras 1 y 2). En las zonas más alejadas se localiza el agua freática (muestra 3). El incremento del valor de R desde el exterior hacia la zona lagunar interior está asociado a la existencia de procesos de mezcla de ambos tipos de agua; esto permite trazar una curva hipotética de mezcla entre los términos extremos que incluiría el resto de muestras estudiadas. Este aspecto queda además confirmado por estudios isotópicos (Fig. 2).

---

#### Conclusiones:

El valor de R para muestras estudiadas asociadas a procesos de evapoconcentración salina lagunar en la laguna de Fuente de Piedra es de  $1140 \pm 180$ . Este valor es producto de que la evaporación del agua lagunar durante periodos secos produce la cristalización de halita empobrecida en Br en los márgenes de la laguna. Dicha halita es posteriormente lavada hacia el acuífero durante la época de lluvia, quedando en el centro de la laguna unas salmueras residuales más enriquecidas en Br. El agua freática local presenta un valor de  $R = 343$  y está asociada a lluvias de origen atlántico. Entre estos dos tipos de aguas existe una variedad de situaciones intermedias ligadas a la cantidad de mezcla entre ambas, que permite trazar una hipotética curva de mezcla local. Las muestras 4 y 5, algo más alejadas de la laguna, están menos afectadas por procesos de evapoconcentración y levemente por disolución de sales evaporíticas; presentan un valor de  $R = 670 \pm 70$ . Corresponden a una situación intermedia entre ambos extremos.

---

#### Acciones:

Se ha caracterizado el comportamiento general de este sistema endorreico. A pesar de ello, su complejidad sugiere realizar algún muestreo adicional, principalmente en algún pozo profundo que capte agua de circulación algo más regional. El muestreo en manantiales o de agua de lluvia de la zona permitiría caracterizar el agua de recarga.

---

#### Referencias específicas:

Alcalá-García, F.J., López-Galindo, A., Rodríguez-Rodríguez, M. y Benavente, J. (2001). Mineralogía y geoquímica de los sedimentos de algunas lagunas del N. de la provincia de Málaga (S. de España). *Est. Geol.*, 57,



93-98.

- Almécija, C (1997). *Estudio hidrológico de los enclaves lagunares del norte de la provincia de Málaga*. Tesis Doctoral, Univ. de Granada (inédita). 518 pp.
- Benavente, J., Almécija, C. y Carrasco, F. (1994). Características físico-químicas de las aguas subterráneas en la proximidad de lagos salados. Algunos ejemplos del Norte de la provincia de Málaga. Análisis y evaluación de la contaminación de las Aguas Subterráneas. Actas del Congreso de Alcalá de Henares (Madrid, España) 7-10/2/94. AIH-IAH. T II, 111-122.
- Cruz-Sanjulián, J. (1974). *Estudio geológico del sector Cañete la Real-Teba-Osuna*, Tesis Doctoral. Univ. de Granada, 413 pp.
- Peyre, Y. (1974). *Géologie d'Antequera et de sa région (Cordillères Bétiques, Espagne)*, Tesis Doctoral, Universidad de Paris, Inst. Nat. Agronomique, 528 pp.

## **ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br**

Lugar de ensayo:

**ACUÍFERO DE ALMONTE-MARISMAS (Huelva)**

Fecha de muestreo: noviembre de 2000, julio de 2001

Muestreador: Edurne Lozano, Felipe Delgado, Marisol Manzano

Descripción: Marisol Manzano

Comentarios: Emilio Custodio, Marisol Manzano

Interpretación: Emilio Custodio, Marisol Manzano

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: febrero 2003

Organismos 1: UPC

2: IGME

Objetivos:

- El estudio de estas muestras persigue determinar el valor de  $rCl/rBr$  de algunas muestras cuyo origen de la salinidad ha sido caracterizado en trabajos anteriores.

Características del muestreo: Se especifica en la tabla adjunta.

Características del acuífero: Se trata de un acuífero detrítico plio-cuaternario, con un nivel base impermeable de margas arcillosas azules miocenas. Sobre éstas se desarrolla una serie de niveles fundamentalmente arenosos fluvio-marinos y eólicos hacia el N y O, y algo más gruesos hacia el SE, de origen litoral y fluvio-deltaico (IGME, 1992; Salvany y Custodio, 1995; Custodio y Palancar, 1995; Iglesias, 1999; Manzano *et al.*, 2001). Hacia el S las facies fluvio-deltaicas están recubiertas por arcillas limosas de estuario y, más recientemente, de marisma mareal y marisma fluvial, y finalmente se han desarrollado varios cordones de dunas litorales (Borja *et al.*, 1997). El borde continental de cada cordón dunar propicia la generación, a pie de duna, de lagunas freáticas. Los depósitos deltaico-marinos más distales contienen aguas marinas antiguas.

La recarga al sistema se produce por el agua de lluvia (IGME, 1992), siendo ésta de  $140 \pm 70$  mm/año ( $0,30 \pm 0,15$  % de la precipitación) según Iglesias *et al.* (1996). Las descargas se producen principalmente por salidas a ríos y arroyos, manantiales y rezumes en la costa y en el contorno de la marisma, y bombeos localizados mayoritariamente en el borde externo de la marisma (Custodio y Palancar, 1995; Trick, 1998; UPC, 1999).

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de  $rCl/rBr$  de diferentes muestras pertenecientes a algunos de los ambientes hidrogeológicos descritos.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Las muestras han sido analizadas en el laboratorio del IGME

Clave Muestra	Ident. Lab.	Paraje	Topónimo	Localiz.	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Lab.	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	Ci-(B)
MAR	01/456-07	Torre La Higuera	Agua de mar	M	AS	REC	13-jul-01	IGME	71,151	18532	586
OLALLA1	01/456-43	St. Olalla	Laguna Sta Olalla	L	AF	MD	09-jul-01	IGME	1,733	335	435
OLALLA12	01/456-44	St. Olalla	Laguna Sta Olalla	L	AF	MD	09-jul-01	IGME	1,097	238	489
OLALLA15	01/456-45	St. Olalla	Laguna Sta Olalla	L	AF	MD	09-jul-01	IGME	0,829	213	517
OLALLA2	01/456-30	St. Olalla	Laguna Sta Olalla	L	AF	MD-BE	09-jul-01	IGME	0,506	1249,50	5556
OLALLA (NW)	01/456-42	St. Olalla	Laguna Sta Olalla sup.	L'	AS	REC	09-jul-01	IGME	2,403	672	629
OLALLA (SE)	01/456-17	St. Olalla	Laguna Sta Olalla sup.	L'	AS	REC	09-jul-01	IGME	2,376	700	663
SGOP30-S1	00/560-55	Marisma	Lucio Vetalengua sup.	M	SP	TMS	30-nov-00	IGME	72,11	20644	644
VETA56	01/456-36	Marisma	Vetalengua	M	SP	TMS	10-jul-01	IGME	69,649	14876	481
VETA56	00/560-78	Marisma	Vetalengua	M	SP	TMS	22-nov-00	IGME	23,55	6312	603
VETA57	00/560-79	Marisma	Vetalengua	M	SP	TMS	22-nov-00	IGME	56,91	16390	648
SGOP32-S1	01/282-06	Retuerta	Pocito	R	SP	TMS	22-nov-00	IGME	20,27	5835	648
SGOP34-S1	01/282-07	Retuerta	Pozo Nuevo	R	SP	TMS	22-nov-00	IGME	25,39	7612	675
SGOP35-S1	01/282-08	Retuerta	Llanos de Velázquez	R	SP	TMS	22-nov-00	IGME	7,37	2104	642
SGOP27-S1	01/282-04	Retuerta	Aguas Rubias	R	SP	TMS	30-nov-00	IGME	4,40	1269	649
SGOP28-S1	01/282-05	Retuerta	Majada Real	R	SP	TMS	30-nov-00	IGME	37,47	10212	613
S_ABAST_PALACIO	01/456-46	Vera	Don Ignacio	N	SP	REC	10-jul-01	IGME	0,104	31	660
SGOP8-S3 (surg)	01/456-11	Vera/Retuerta	Abasto Palacio	V/R	SP	TMS	13-jul-01	IGME	0,20	54	609
AM-12	01/456-25	Vera Norte	Partido Resina	VN	SMR	TMS	04-jul-01	IGME	107,40	30815	646
M-7-1	01/456-06	Vera Norte	Sector M, Al-M	VN	SMR	TMS	04-jul-01	IGME	1,579	361	514
C18-S44	01/456-14	Bodegones	Los Bodegones	B	SP	TMS	02-jul-01	IGME	4,987	793	358
C18-S44	01/456-14	Bodegones	Los Bodegones	B	SP	TMS	23-nov-00	IGME	5,856	987	379
C18-S45	01/456-38	Bodegones	Los Bodegones	B	SP	TMS	02-jul-01	IGME	1,306	266	457
C18-S45	01/456-38	Bodegones	Los Bodegones	B	SP	TMS	23-nov-00	IGME	1,299	300	520
SGOP5-S3	01/456-23	Abalarío	El Asperillo	A	SP	TMS	12-jul-01	IGME	0,072	23	731
SGOP1-S3	01/282-02	Abalarío	Matalescañas	A	SP	TMS	20-nov-00	IGME	0,069	20	644
SGOP1-S4	01/282-03	Abalarío	Matalescañas	A	SP	TMS	20-nov-00	IGME	0,096	28	650
C10-S23	01/282-12	Abalarío	El Alamillo	A	SP	TMS	25-nov-00	IGME	0,093	12	301
SGOP45-S1	01/282-09	Abalarío	Laguna Acebuche	A	SP	TMS	27-nov-00	IGME	0,073	20	623
SGOP47-S1	01/282-10	Abalarío	Laguna Navazo delToro	A	SP	TMS	27-nov-00	IGME	0,075	24	715
SGOP9-S1	01/282-11	Abalarío	Pequeña Holanda	A	SP	TMS	28-nov-00	IGME	0,177	18	227
B_PALACIO_MARISMILLAS	01/282-01	Flecha	Palacio de Marismillas	F	SMR	TMS	30-nov-00	IGME	0,842	379	1012
Luvia-1	01/360-01	Palac. Doñana		P	AL	PLU	dic-00	IGME	0,02	4,83	543
Luvia-2	01/360-02	Palac. Doñana		P	AL	PLU	ene-01	IGME	0,018	3,31	414
Luvia-3	01/360-03	Palac. Doñana		P	AL	PLU	feb-01	IGME	0,049	11,65	535
Luvia-4	01/360-04	Palac. Doñana		P	AL	PLU	mar-01	IGME	0,037	10,66	648
Luvia-5	01/360-05	Palac. Doñana		P	AL	PLU	may-01	IGME	0,033	7,61	519
Luvia-6	02/034-01	Palac. Doñana		P	AL	PLU	oct-01	IGME	0,0244	4,52	417
Luvia-7	02/034-02	Palac. Doñana		P	AL	PLU	nov-01	IGME	0,0162	4,07	565
Luvia-8	02/034-03	Palac. Doñana		P	AL	PLU	dic-01	IGME	0,0088	2,34	598

**Claves de localización**

R	Retuerta	F	Flecha
VN	Vera Norte	L'	Laguna (Agua superficial)
M	Marisma	L	Laguna (Agua freática)
B	Rocina (Bodegones)	P	Palacio de Doñana
A	Abalarío		

**Claves de captación**

AF	Agua freática
AS	Agua superficial
AL	Agua de lluvia
SP	Sondeo puntual
SMR	Sondeo multianurado

**Claves de muestreo**

MD	Muestreo destructivo
TMS	Tomamuestras sumergible
REC	Recipiente
PLU	Lluvia

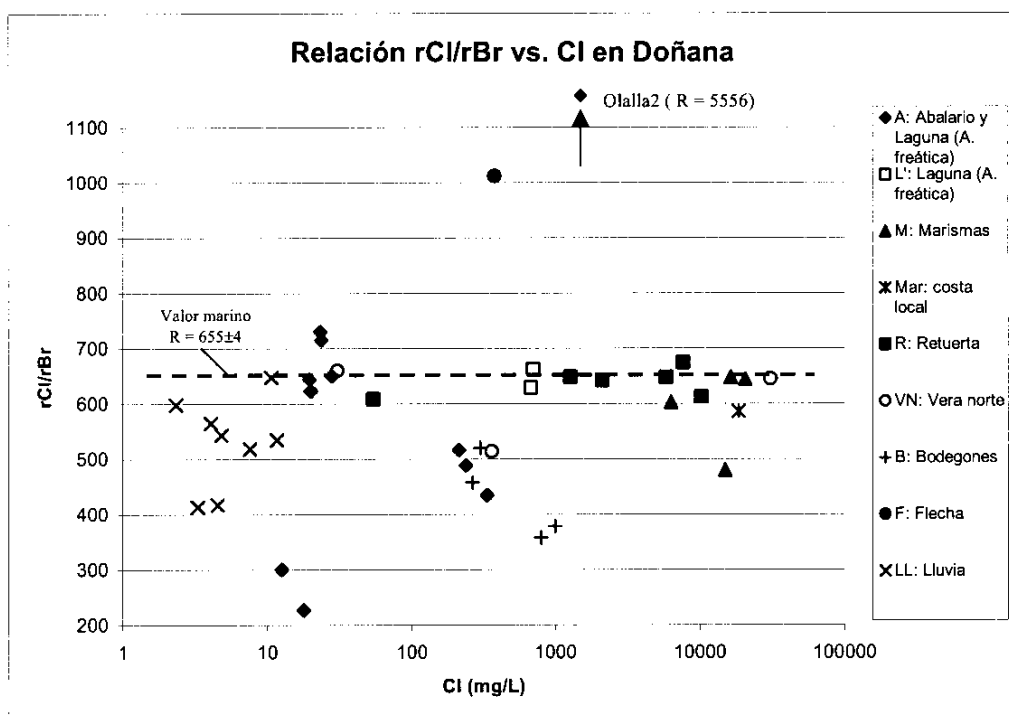


Figura 1. Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$ . Las claves indicadas se describen en la Tabla 1

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, trazas y de isótopos ambientales ( $^3H$ ,  $^{18}O$ ,  $^2H$ ,  $^{13}C$ ,  $^{14}C$ ) que han permitido caracterizar razonablemente los diferentes procesos hidrogeoquímicos en trabajos anteriores. Se dispone de las características geográficas, geológicas e hidrogeológicas del acuífero, valores de precipitaciones y analíticas de precipitación, etc.

#### Resultados:

Los resultados de 32 muestras tomadas dentro de los proyectos IGME y DIT-UPC en curso (Tabla 1), algunas de ellas pertenecientes al mismo punto muestreado en distintas fechas, han sido clasificadas por zonas en función al origen conocido de su salinidad. Estas muestras cubren principalmente la franja más próxima al litoral del acuífero de Doñana. También incluye una muestra de agua de mar de la zona y 8 muestras de agua de lluvia tomadas en el Palacio de Doñana. Clasificando las aguas subterráneas y superficiales muestreadas según su contenido reciente en  $Cl$ , resulta:

- a) Las aguas con  $Cl = 15-30 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , que corresponden al fondo regional muestran valores de  $R$  entre 330 y 700; los mayores corresponden a aguas subterráneas de menor tiempo de renovación y los menores lo hacen a aguas subterráneas de rápida renovación y por lo tanto mucho

- más afectadas por los desarrollos agrícolas intensivos recientes; de hecho el contenido en  $\text{NO}_3$  es elevado.
- b) Las aguas del área lagunar muestreada (Santa Olalla, Navazo del Toro) muestran similar efecto descrito en el punto a) anterior pero con mayor contenido en Cl a causa de la evaporación. Las aguas superficiales proceden de aguas subterráneas regionales, con largo tiempo de tránsito, mientras que las freáticas son recientes y con menor efecto antrópico ambiental. Se ha tomado una muestra evapoconcentrada con  $R = 5556$ , efecto de disolución de halita por la lluvia.
  - c) Las aguas subterráneas próximas a la parte alta/media del Arroyo de la Rocina en Los Bodegones deben su alto contenido en Cl a recarga en condiciones de mucha mayor evapoconcentración que el resto del área y muestran un posible efecto antrópico en R ( $450 \pm 90$ ) por causas agrícolas.
  - d) Las aguas salobres y saladas de la Retuerta y Vetalengua son de origen marino por evapoconcentración de aguas salobres y saladas de la marisma (penetración de agua de estuario) y el valor de  $R = 630 \pm 25$  puede reflejar la dominancia del efecto marino con cierta dilución con agua dulce ( $R < 600$ ) y luego evapoconcentración.
  - e) En la Vera Norte el agua hipersalina de Partido Resina no difiere del agua marina con cierta evaporación y la del Sector regable M del Plan Almonte-Marismas muestra efecto antrópico de riego y de hecho hay alto contenido en  $\text{NO}_3$ .
  - f) El agua freática del Palacio de Marismillas, de un pozo abierto en el entorno doméstico y ganadero llega a  $R \sim 1000$ , que refleja el efecto antrópico esperable de uso de halita.
  - g) La muestra de agua marina, tomada en la playa de Torre de la Higuera, junto a Matalascañas, es atípica tanto por su algo reducida salinidad como por el algo pequeño valor de R. Pueden haber problemas analíticos. La contaminación por vertidos directos o indirectos produce cierta dilución pero no afecta de forma sensible a R y es difícil imaginar procesos biológicos que lleven al alto contenido en Br (mayor que el del agua marina típica).

---

#### Discusión:

El agua de lluvia ha dado valores por debajo del marino; unos lo son moderadamente ( $R = 570 \pm 50$ ) mientras que otros desvían más ( $R \sim 400$ ) y que se interpretan como un efecto antrópico de aporte de Br derivado de las prácticas agrícolas (por ejemplo desinfección de suelos de cultivos en arenas con bromuro de metilo) y del polígono industrial químico de Huelva (aun por estudiar), como parece probable tras su exceso de  $\text{SO}_4$  (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).

El efecto de exceso de Br de la lluvia parece reflejarse en parte de las aguas freáticas con cierta evapoconcentración (entorno de Santa Olalla, Bodegones), aunque en otras ese efecto puede ser directamente de contaminación agrícola (Alamillo, Pequeña Holanda, Sector M).

El resto de aguas se asemejan al valor de R del agua marina, de acuerdo con la proximidad a la costa o la influencia de agua del mar, tanto dulces como saladas. El que el agua marina muestreada en Torre de la Higuera se desvíe

algo del agua oceánica parece debido a que tiene contaminación por vertidos locales que la diluyen algo.

Hay dos excepciones mayores. Una muestra freática de Santa Olalla, cuyo alto valor de R (5556) apunta a que es agua de infiltración de lluvia que ha disuelto halita depositada en las orillas de la laguna durante el proceso de desecación. Otra es el pozo del Palacio de Marismillas, que parece mostrar contaminación humana que incluiría el uso de halita para usos domésticos.

---

#### Conclusiones:

La presencia de aguas marinas y del aerosol marino en la precipitación domina la mayoría de ambientes, comunicando un valor de R próximo al marino. Sin embargo las precipitaciones muestreadas tienden a mostrar valores pequeños de R, que pueden ser un efecto antrópico reciente, y que se refleja en las aguas freáticas más recientes. Parece que la contaminación agrícola disminuye el valor de R, mientras que las aguas residuales humanas lo aumentan. Las aguas freáticas saladas de Santa Olalla parecen debidas a lavado de sales precipitadas en las playas por la lluvia, tras un proceso de desecación de la laguna.

---

#### Acciones:

Los procesos hidrogeológicos de esta zona son conocidos. No es necesario seguir estudiando muestras de este acuífero.

---

#### Referencias específicas:

- Borja, F.; Montes, C.; Morón, M.C. y Barral, M.A. (1997). Humedales litorales de la provincia de Huelva. Aportación a su clasificación genética. Dinámica Litoral-Interior. *Actas del XV Congreso Nacional de Geógrafos Españoles*, AGE, Santiago de Compostela, 1: 45-54.
- Custodio, E. y Palancar, M. 1995. Las aguas subterráneas en Doñana. *Revista de Obras Públicas*, Madrid, 142 (3340), 31-53.
- Iglesias, M. (1999). *Caracterización hidrogeoquímica del flujo del agua subterránea en el Abalarío, Doñana, Huelva*. Tesis Doctoral, Univ. Polit. Cataluña (Barcelona).
- Iglesias, M., Custodio, E., Giráldez, J. V., Manzano, M. y Ordóñez, R. (1996). *Caracterización química de la lluvia y estimación de la recarga en el área del Abalarío, Doñana, Huelva*. IV SIAGA, Ed.: IGME (Madrid). Vol. II: 99-121.
- HID 1999-0205 (2003). *Estudio de la deposición total atmosférica obtenida en la red de muestreo del IGME en diversas zonas de España*. Informe nº 6. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 41 pp.
- IGME, (1992). Hidrogeología del Parque Nacional de Doñana y su entorno. Colección Informes Aguas Subterráneas y Geotécnia. Madrid, 1-64 + mapas.
- Manzano, M.; Custodio, E.; Loosli, H.H.; Cabrera, M.C.; Riera, X. y Custodio, J. (2001). Palaeowater in coastal aquifers of Spain. En: W.M. Edmunds y C.J. Milne eds.: *Palaeowaters in Coastal Europe: evolution of*

- groundwater since the late Pleistocene. Geological Society Special Publication nº 189: 107-138.
- Salvany, J.M. y Custodio, E. (1995). Características litoestratigráficas de los depósitos plio-cuaternarios del Bajo Guadalquivir en el área de Doñana: implicaciones hidrogeológicas. *Rev. Soc. Geol. España*, 8 (1-2): 21-31.
- Trick, Th. (1998). *Impacto de las extracciones de agua subterránea en Doñana: aplicación de un modelo numérico con consideración de la variabilidad de la recarga*. Tesis Doctoral. ETSICCPB, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona.
- UPC, (1999). *Modelo regional de flujo subterráneo del sistema acuífero Almonte-Marismas y su entorno*. Informe inédito realizado por el Grupo de Hidrología Subterránea de la Universidad Politécnica de Cataluña para el Instituto Tecnológico Geominero de España del Ministerio de Medio Ambiente, Barcelona, 1-114 + anejos.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**FUERTEVENTURA (MACIZO DE BETANCURIA Y LLANOS CENTRALES)**

Fecha de muestreo: octubre 1988 - junio 1990

Muestreador: Christian Herrera (UPC)

Interpretación: Christian Herrera y Emilio Custodio

Comentarios: Christian Herrera, Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: junio 2003

Organismos 1: UPC

2: IGME

Objetivos:

- Incorporar y discutir los datos y conclusiones obtenidas del uso de la relación  $rCl/rBr$  (en adelante R) de algunas muestras tomadas en acuíferos de Fuerteventura (Herrera, 2001).

Características del muestreo: se indican de forma detallada en la Tabla I.

Características del acuífero: las muestras estudiadas corresponden a la zona central de la isla de Fuerteventura (Fig. 1), donde afloran rocas sedimentarias antiguas, volcánicas (diferentes procesos magmáticos) e intrusivas que reflejan la evolución geológica desde el Cretácico hasta la actualidad (Demény *et al.*, 1999). Los procesos eustáticos, tectónicos y de levantamiento eruptivo han provocado que numerosos cuerpos de lavas submarinas basálticas y traquíticas afloren en superficie sobre materiales sedimentarios más antiguos (Zazo *et al.*, 1997). Sobre estos son comunes las apariciones de tobas y complejos volcanosedimentarios. Estos complejos son intruidos por numerosas estructuras intrusivas de composición básica y ultrabásica. Cubriendo todo este conjunto aparecen estratovolcanes basálticos que se encuentran muy erosionados (Fig. 1). En la parte central del área de estudio se han descrito campos de lavas recientes (malpaís) que cubren las depresiones y valles locales (Stillman, 1999).

Desde el punto de vista hidrogeológico se pueden diferenciar dos grandes unidades, una superior con aguas menos salinas y conductividades entre 2,5 y 5,5 mS/cm; y una inferior con mayor salinidad y conductividad eléctrica entre 5,5 y 24 mS/cm (Herrera y Custodio, 2000; Herrera, 2001). La U. Superior presenta facies cloruradas-sódicas y presenta una salinidad asociada a la presencia de agua de recarga con un intenso efecto climático y de ciertas actividades antrópicas; mientras que en la U. Inferior aparecen facies cloruradas-sulfatadas-sódicas, con una salinidad principalmente asociada a la



presencia de agua marina antigua residual. La zona presenta un clima semiárido con precipitaciones escasas e irregulares.

Comprobaciones buscadas: Observar los valores de R en un acuífero de origen volcánico insular con presencia de aguas marinas antiguas (Herrera, 2001), presencia de efectos antrópicos, y un clima árido con precipitaciones escasas e irregulares.

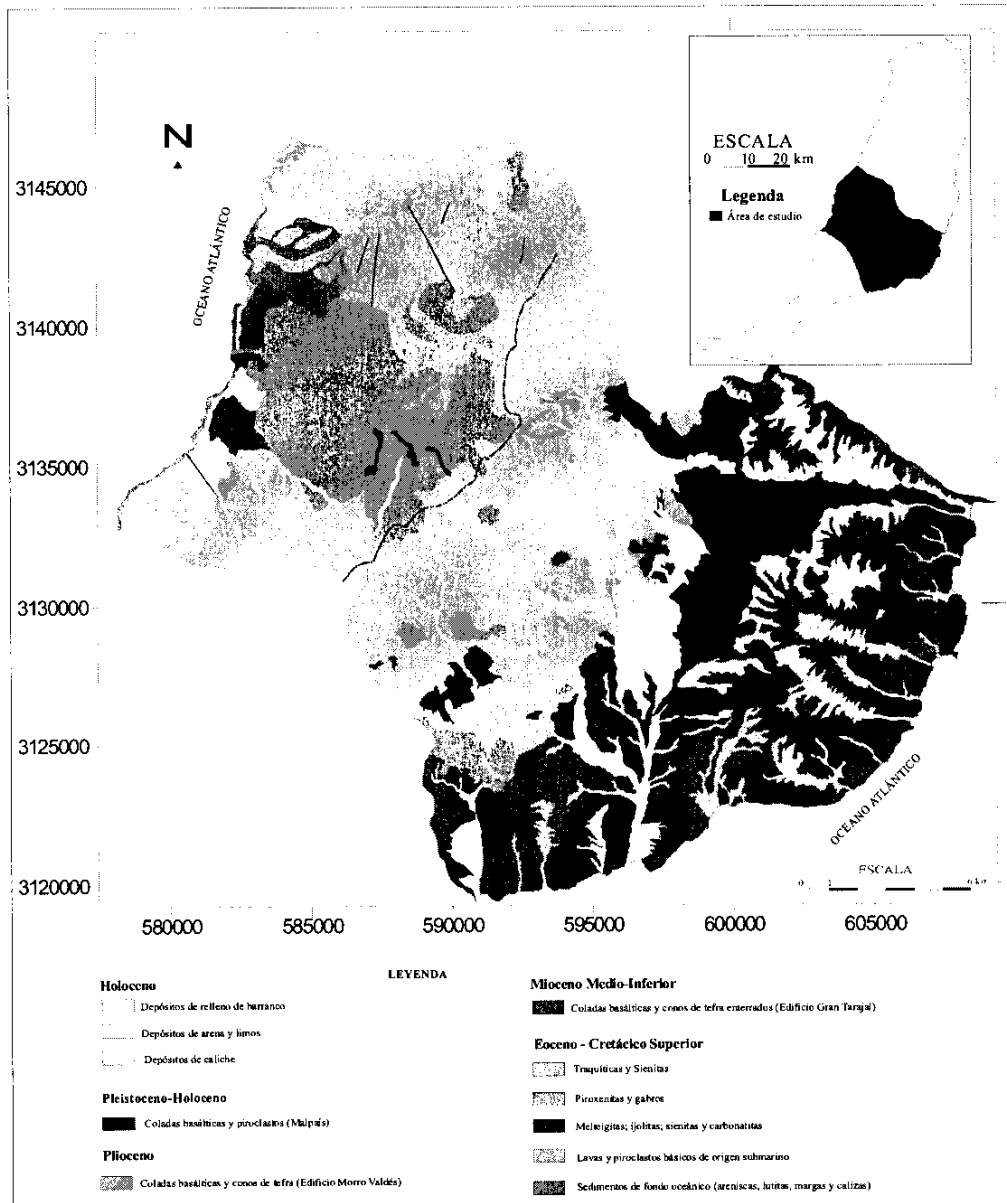


Figura 1.- Esquema geológico de la zona central de la isla de Fuerteventura, tomado de Herrera (2001)

Tabla I.- Resultados obtenidos

Clave Muestra	T. Munc. / Paraje	Tipo Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Lab.	Br (mg/L)	Cl (mg/L)	rCl/Br	Ambiente captación	ubicación	sistema	agua	Clave
MAN-PAJ-FJ	Manantial de Trijoy	MAN	REC	22-mar-99	IGME	1,4	482	775	NAC	LAD	INT	NAT	NPS
M-BET-5	Majada de la Cuna	MAN	REC	19-nov-99	IGME	1,5	540	810	NAC	LAD	INT	NAT	NPS
MAN-PAJ-JS	Manantial de Trijoy	MAN	REC	18-nov-99	IGME	1,3	480	831	NAC	LAD	INT	NAT	NPS
B-1-F-J	Barranco de Tabaiba	PSB	TMS	20-mar-99	IGME	0,8	348	955	SOM	LAD	VOL-SUB	NAT	NPS
M-BET-2	Bco. de la Peña grande	MAN	REC	19-nov-99	IGME	3,5	1080	694	NAC	LAD	INT	NAT	NMS
M-BET-1	Bco. del Convento	MAN	REC	25-nov-99	IGME	3,6	1340	838	NAC	LAD	INT	NAT	NMS
M-BET-3	Bco. de la Peña grande	MAN	REC	19-nov-99	IGME	7,5	2070	621	NAC	LAD	INT	NAT	NMS
M-BET-4	Bco. de la Peña grande	MAN	REC	19-nov-99	IGME	4,6	1620	792	NAC	LAD	INT	NAT	NMS
E-2-CHL	Tiscamanita	SP	MBP	27-abr-98	IGME	7,9	2480	706	SOM	VAL	INT	NAT	SPN
L-2-F-J	Los Morros	PSB	TMS	21-mar-99	IGME	5,6	2050	824	SOM	VAL	VOL-AER	AFT?	SPN
E-4-CHL	Tiscamanita	SP	MBP	27-abr-98	IGME	6,7	2220	746	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
C-2-CHL	Tesejerague	SP	TMS	25-abr-98	IGME	5,6	1660	567	SEM	LLANO	VOL-SUB	AFT	SPN
R-1-F-J	Cortijada de Tegueyde	SP	MBP	16-mar-99	IGME	7,0	2430	781	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
R-1-J-S	Cortijada de Tegueyde	SP	MBP	22-nov-99	IGME	7,1	2460	780	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
A-3-CHL	El Peinado	SP	MBP	23-abr-98	IGME	7,5	2300	690	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
A-3-J-S	El Peinado	SP	MBP	22-nov-99	IGME	5,8	2080	807	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
T-3-F-J	Llano Florido	SP	MBP	24-mar-99	IGME	7,5	2780	834	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	SPN
PAU-J-S	Tiscamanita	SP	MBP	22-nov-99	IGME	5,8	2250	873	PRF	LAD	INT	NAT	SPN
D-1-CHL	Bco. Ancones	SP	MBP	26-abr-98	IGME	6,0	1800	675	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	SPN
D-2-CHL	Las Casitas-Tuinaje	SP	MBP	26-abr-98	IGME	7,1	2110	669	PRF	ALUV	INT-SUB	NAT	SPN
SEVERO	Valles de Ortega	PSB	MBP	23-nov-99	IGME	4,0	1430	804	SEM	LLANO	VOL-SUB	AFT	SMN
F-4-CHL	Taguital	SP	TMS	28-abr-98	IGME	4,9	1690	776	SEM	LLANO	VOL-SUB	AFT	SMN
E-5-CHL	Rosa de Pozo Negro	SP	TMS	27-abr-98	IGME	5,6	1690	679	SEM	MLP	MLP	NAT	SMN
K-8-F-J	Vigan	SP	MBP	18-mar-99	IGME	3,5	1350	888	PRF	LAD	VOL-AER	NAT	SMN
47405001		SP	TMS	17-mar-99	IGME	4,9	1990	914	PRF	MLP	MLP	NAT	SMN
Z-8-F-J	La Calderita	SP	TMS	18-mar-99	IGME	3,9	1670	963	SEM	MLP	MLP	NAT	SMN
P-VEGA-1	La Banda	PSB	TMS	25-nov-99	IGME	2,3	812	794	SEM	VAL	INT	AFT?	PSN
P-BET-2	Ermila de San Diego	PSB	TMS	25-nov-99	IGME	2,1	752	806	SEM	LAD	INT	AFT	PSN
K-1-F-J	Ensenada de Gran Valle	SP	TMS	19-mar-99	IGME	1,9	625	740	SEM	ALUV	VOL-AER	AFT?	PSN
Z-5-F-J	Morro de la Viga	SP	TMS	17-mar-99	IGME	2,8	930	805	PRF	VAL	INT	NAT	PSN
T-4-F-J	Bco. de Sice	SP	TMS	24-mar-99	IGME	2,6	890	770	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	PSN
T-4-J-S	Bco. de Sice	SP	TMS	16-nov-99	IGME	2,8	952	765	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	PSN
D-3-CHL	Tesejerague	SP	MBP	26-abr-98	IGME	3,4	980	656	PRF	VAL	VOL-SUB	NAT	PSN
F-5-CHL-A-21m	Malpais de la Pierna	SP	TMS	28-abr-98	IGME	1,9	596	706	PRF	MLP	MLP	NAT	PSN
F-5-CHL-B-35m	Malpais de la Pierna	SP	TMS	28-abr-98	IGME	4,1	1310	719	PRF	MLP	MLP	NAT	PSN
X-42-10m	Barranco de los Nateros	SP	TMS	22-mar-99	IGME	1,1	540	1105	PRF	ALUV	VOL-AER	NAT	PSH
J-2-F-J	Malpais de la Pierna	SP	TMS	19-mar-99	IGME	0,6	310	1163	PRF	MLP	MLP	NAT	PSH
N-3	Cañadas del Hoyo	SP	MBP	14-oct-98	IGME	16,7	5700	768	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	MS
N-3-F-J	Cañadas del Hoyo	SP	MBP	17-mar-99	IGME	17,0	5700	754	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	MS
N-3-J-S	Cañadas del Hoyo	SP	MBP	26-nov-99	IGME	18,0	5800	725	PRF	LAD	VOL-SUB	NAT	MS
E-3-CHL	Tesejerague	SP	MBP	27-abr-98	IGME	12,5	3620	652	PRF	LLANO	VOL-SUB	NAT	MS
C-4-A-CHL25	Cortijo de Diego Alonso	SP	TMS	25-abr-98	IGME	15,0	4440	666	PRF	VAL	VOL-SUB	AFT	MS
C-4-B-CHL-35	Cortijo de Diego Alonso	SP	TMS	25-abr-98	IGME	22,2	6600	669	PRF	VAL	VOL-SUB	AFT	MS
C-4-CHL-57	Cortijo de Diego Alonso	SP	TMS	25-abr-98	IGME	26,7	8300	699	PRF	VAL	VOL-SUB	NAT	MS
X-42-60m	Barranco de los Nateros	SP	TMS	22-mar-99	IGME	26,0	9250	800	PRF	VAL	VOL-SUB	NAT	MS
P-5-F-J	Bco. Gran Tarajal	SP	TMS	16-mar-99	IGME	14,0	5000	804	PRF	ALUV	VOL-AER	NAT	MS
Z-9-J-S	Calderita de Liria	SP	TMS	20-nov-99	IGME	16,0	4300	605	PRF	MLP	MLP	NAT	MS

TIPO CAPTACIÓN	UBICACIÓN	SISTEMA	AGUA
NAC = NACIENTE	ALUV = ALUVIAL	INT = INTRUSIVO	NAT = NATURAL
SOM = SOMERA	LLANO = LLANO	VOL SUB = VOLCANISMO SUBMARINO	AFT = AFECTADA
SEM = SEMIPROFUNDA	LAD = LADERA	VOL-AER = VOLCANISMO SUBAEREO	
PRF = PROFUNDA	MPL = MALPAIS	MLP = MALPAIS	
	VAL = VALLE		

CLAVE

NPS = nacientes con salinidad baja  
 NMS = nacientes con salinidad alta  
 SPN = muestras algo salinas con escaso contenido de NO<sub>3</sub>  
 SMN = muestras algo salinas con altos contenidos en NO<sub>3</sub>  
 PSN = muestras poco salinas con contenidos moderados de NO<sub>3</sub>  
 PSH = muestras poco salinas con altos contenidos en HCO<sub>3</sub> y escaso NO<sub>3</sub>  
 MS = muestras muy salinas con escaso contenido en NO<sub>3</sub>

CLAVES TIPO DE CAPTACIÓN

Sondeo Puntual SP  
 Pozo sin Bombeo PSB  
 Manantial MAN

CLAVES MET. MUESTREO

Muestra de Bombeo de Pozo TMS  
 Tomamuestras Sumergible REC

MBP  
 TMS  
 REC

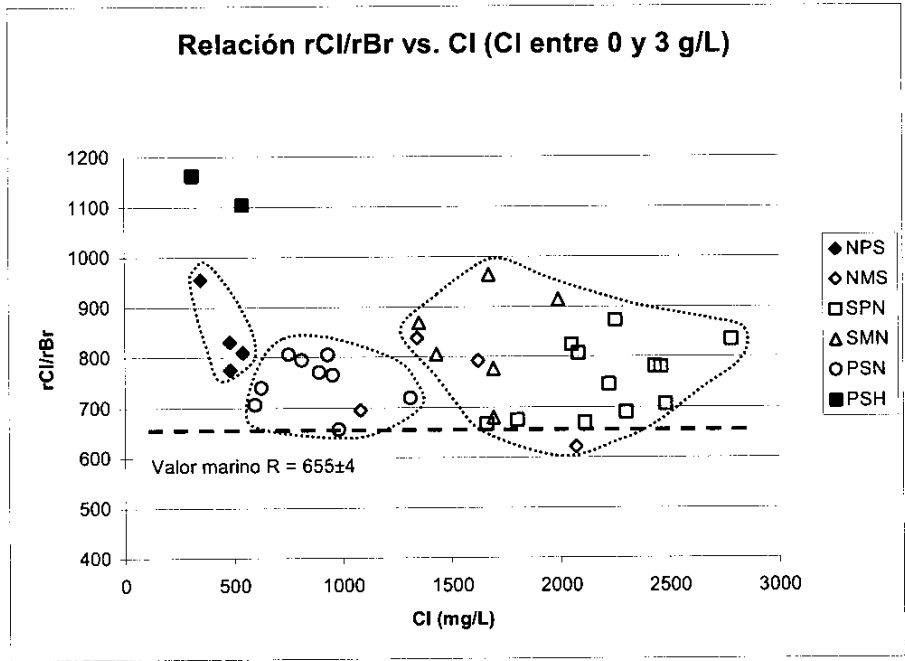


Figura 2a.- Representación gráfica de la relación rCl/rBr (R) vs. Cl en Fuerteventura para contenidos de Cl entre 0 y 3000 mg/L

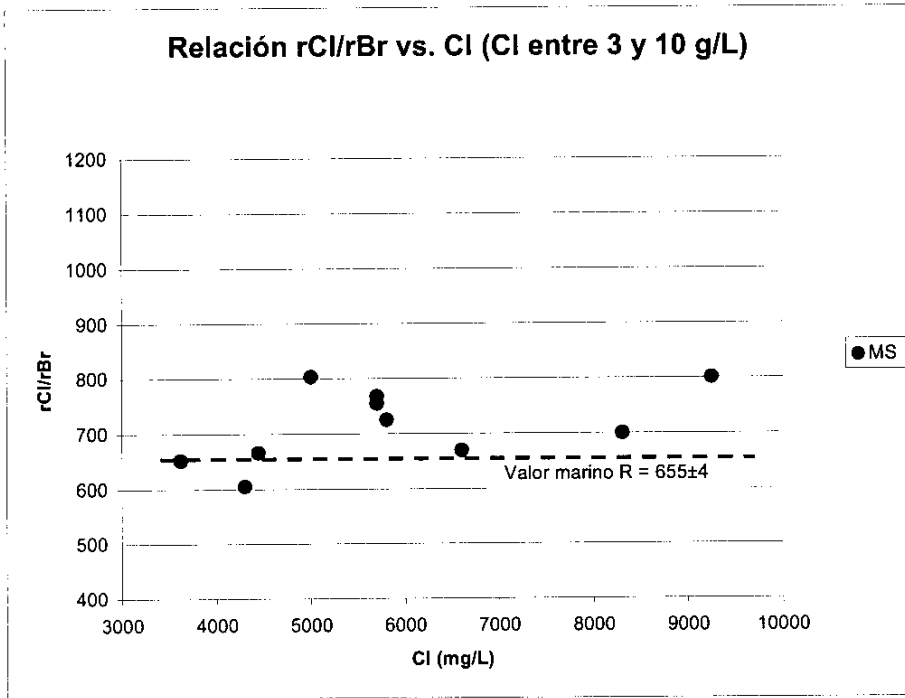


Figura 2b.- Representación gráfica de la relación rCl/rBr (R) vs. Cl en Fuerteventura para contenidos de Cl entre 3000 y 10000 mg/L

## Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas de cada muestra; y de sus características geográficas e hidrogeológicas.

---

### Resultados:

Se han estudiado 47 muestras de las unidades hidrogeológicas descritas por Herrera (2001); de las que se conoce el origen natural o antrópico de su salinidad (Tabla 1). En líneas generales, las muestras de la U. Superior y nacientes presentan contenidos de Cl  $>$  300 mg/L y normalmente Cl  $<$  500 mg/L; los valores de R oscilan entre 650 y 950. La U. Inferior incluye aguas marinas fósiles o de escasa renovación (Custodio y Herrera, 2000) con valores de R entre 650 y 800 y contenidos de Cl  $>$  3000 mg/L. La unidad superior está más expuesta a diversos procesos naturales y antrópicos que modifican su salinidad (Herrera, 2001). Las muestras han sido clasificadas como sigue (Fig. 2a y Fig. 2b):

4 muestras poco salinas de nacientes (NPS) presentan contenidos de Cl =  $460 \pm 80$  mg/L y R =  $840 \pm 80$ . Otras 4 muestras más salinas de nacientes (NMS) tienen contenidos de Cl =  $1530 \pm 420$  mg/L y R =  $740 \pm 100$ . Estas últimas presentan contenidos de NO<sub>3</sub> y HCO<sub>3</sub> más altos (superiores a 20 mg/L y 360 mg/L respectivamente).

2 muestras someras del valle, algunas muestras profundas y semiprofundas del llamo, aluvial, malpais y laderas (SPN) presentan contenidos de Cl =  $2270 \pm 265$  mg/L y R =  $760 \pm 70$ . Las muestras someras del valle presentan los valores de R más bajos y rCl/rSO<sub>4</sub> entre 1 y 5. El resto de muestras presentan valores de la relación rCl/rSO<sub>4</sub>  $<$  1. Todas las muestras presentan valores de rCl/HCO<sub>3</sub> entre 20 y 30, y no presentan contenidos significativos de NO<sub>3</sub> u otras sustancias que pudieran indicar un origen de la salinidad no natural.

6 muestras semiprofundas del llano y del malpais (SMN) presentan contenidos de Cl =  $1640 \pm 210$  mg/L, R =  $810 \pm 110$  y NO<sub>3</sub>  $>$  45 mg/L pudiendo llegar hasta 120 mg/L. La relación rNa/rK crece de forma inversa a la relación rCl/rHCO<sub>3</sub>, con valores de ambas entre 5 y 40, y 10 y 25 respectivamente. Los valores de rCl/rSO<sub>4</sub> oscilan entre 2 y 4.

Muestras semiprofundas del valle, laderas y aluvial; y profundas del valle, laderas, aluvial y malpais (PSN) presentan contenidos de Cl =  $870 \pm 215$  mg/L, R =  $750 \pm 50$ , NO<sub>3</sub> entre 5 y 40 mg/L y valores de rCl/rHCO<sub>3</sub>  $<$  20.

Dos muestras profundas del valle y malpais (PSH) tienen contenidos de Cl  $<$  500 mg/L y R  $>$  1100. Presentan valores de CO<sub>3</sub> y F  $\sim$  5 mg/L, NO<sub>3</sub>  $\sim$  10-20 mg/L, y valores de rCl/rSO<sub>4</sub> y rCl/rHCO<sub>3</sub>  $<$  2. Parecen ser muestras afectadas por la meteorización del malpais.

10 muestras profundas muy salinas de origen marino antiguo residual (Herrera, 2001) del aluvial, malpais y laderas (MS) tienen contenidos de Cl =  $5870 \pm 1770$  mg/L y R =  $715 \pm 70$ . Tienen valores de rNa/rK entre 35 y 80 y rCl/rHCO<sub>3</sub> entre

20 y 150. Una muestra con un  $\text{NO}_3 = 40 \text{ mg/L}$  presenta un valor de  $R = 669$ .

---

#### Discusión:

El origen de la salinidad de cada unidad hidrogeológica es diferente. La relación  $r\text{Cl}/r\text{Br}$  muestra valores similares para ambas, aunque algo superiores para las aguas de la Unidad Superior debido al efecto climático del agua de recarga y el efecto antrópico, principalmente cuando los pozos están cerca de las pequeñas explotaciones agrícolas y pecuarias. A partir de los orígenes propuestos por Herrera (2001), el contenido en  $\text{NO}_3$ , valores de algunas relaciones iónicas y contenido de Cl se han obtenido criterios que aclaran el significado de los valores obtenidos de R para cada muestra.

Las muestras de nacientes poco salinos se asocian a aguas de recarga con efecto climático, poco o nada antropizadas;  $R \sim 800$  para  $\text{Cl} < 500 \text{ mg/L}$ . Algunos de los nacientes más salinos pueden incluir afección humana y agrícola ( $\text{NO}_3 > 20 \text{ mg/L}$ ) o representan descargas de niveles más profundos que modifican el valor original de R a 650-800.

Las muestras SPN se asocian a aguas de recarga poco afectadas por procesos antrópicos significativos (contenido en  $\text{NO}_3$  bajo o inexistente).  $R = 660-800$  para  $\text{Cl} < 2000 \text{ mg/L}$ .

Las muestras SMN tienen una salinidad moderada y están afectadas por efectos antrópicos ( $\text{NO}_3 > 45 \text{ mg/L}$  y en ocasiones de  $100 \text{ mg/L}$ ). Dos muestras con  $\text{NO}_3 > 200 \text{ mg/L}$  tienen un valor de  $R > 900$ , y otra con  $\text{NO}_3 \sim 130 \text{ mg/L}$  tiene un valor de  $R = 680$ . El resto de muestras, con  $\text{NO}_3$  entre 45 y 55  $\text{mg/L}$ , presenta R entre 775 y 870, valores similares a los obtenidos en el resto de muestras de la U. Superior. El aumento de  $\text{NO}_3$  tiende a dispersar el valor de R respecto del rango habitual de  $R = 700$  y  $800$  del acuífero.

Las muestras PSN identifican las condiciones típicas de salinidad moderada de las muestras de la U. Superior, producto del efecto climático sobre el agua de lluvia y afección antrópica. Tienen salinidad baja, R entre 700 y 800, contenidos de  $\text{NO}_3$  entre 5 y 40  $\text{mg/L}$  y valores de las relaciones iónicas similares a los encontrados para otros grupos de muestras.

Las muestras MS corresponden a aguas marinas residuales antiguas (Herrera, 2001) con Cl entre 3500 y 9200  $\text{mg/L}$ . La mayoría de muestras menos salinas del valle, aluvial y malpais presentan para  $\text{Cl} = 3500-5000 \text{ mg/L}$ ,  $R \sim 655$ ; las muestras más salinas del valle  $R \sim 800$ . El resto de muestras (aluvial y ladera) presentan valores de R entre 700 y 800 similares a los obtenidos en las muestras de la U. Superior, producto de la influencia del agua de recarga con efecto climático y afección antrópica en las muestras con menor salinidad.

---

#### Conclusiones:

Las aguas afectadas por procesos antrópicos y efecto climático de la U. Superior presentan valores de R similares entre ellas (700-800) que constituyen los valores de fondo de R del acuífero; no se dispone de criterios más finos

para discriminarlas. Las aguas de nacientes poco salinos asociados a aguas de recarga con efecto climático presentan valores de R ~ 800 pudiendo alcanzar valores de R > 900. Similares valores de R presentan otras muestras con mayor salinidad y afectadas por retornos de riego con altos contenidos de NO<sub>3</sub>, lo que permite identificarlas de las anteriores. Algunas muestras con salinidad baja o moderada, R ~ 655 y contenidos moderados o altos de NO<sub>3</sub>, se asocian a efectos antrópicos. Las muestras de la U. Inferior, asociadas a aguas marinas antiguas, presentan salinidades elevadas y valores de R ~ 655; algunas de ellas menos salinas presentan valores de R entre 700 y 800, similares al valor de fondo de R de las aguas de la U. Superior y producto de la mezcla de aguas de recarga con efecto climático y antrópico con las aguas marinas antiguas.

---

Acciones:

Esta zona ha sido caracteriza.

---

Referencias específicas:

- Demény, A., Ahijado, A., Casillas, R., Boyce, A.J. y Fallick, E. (1999). Crustal contamination of carbonatites indicated by  $\delta^{34}\text{S}$ - $\delta^{13}\text{C}$  correlations (Fuerteventura, Canary Islands). *Rev. Soc. Geol. Esp.*, 12(3-4):453-460.
- Herrera, C. (2001). *Caracterización hidrogeoquímica del Macizo de Betancuria, Fuerteventura, Archipiélago de Canarias*. Tesis Doctoral. DIT. Univ. Pol. Cataluña (Barcelona). 1-225 pp + anexos.
- Herrera, C. y Custodio, E. (2000). *Saline Water in Central Fuerteventura Island, Canary Islands, Spain*. 16 SWIM. Wolin Island, Poland. 80: 81-86.
- Stillman, C.J. (1999). Giant Miocene landslides and the evolution of Fuerteventura, Canary Islands. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*. 94: 89-104.
- Zazo, C., Hillaire-Marcel, Cl., Goy, J.L., Ghaleb, B. y Hoyos, M. (1997). Cambios del nivel del mar-clima en los últimos 250 kA: (Canarias Orientales, España). *Bol. Geol. Min. Esp.*, 108(4-5): 487-497.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**MACIZO FONOLÍTICO DE AMURGA (Gran Canaria)**

Fecha de muestreo: marzo 2001

Muestreador: ELMASA a petición de Felipe Roque

Descripción: Emilio Custodio

Comentarios: Emilio Custodio

Interpretación: Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: noviembre 2002

Organismos 1: LEMAZA

Objetivos:

- Determinar el valor de la relación  $rCl/rBr$  de un conjunto de muestras tomadas en diferentes barrancos del Macizo de Amurga (Gran Canaria).

Características del muestreo: Muestreo en pozos de bombeo.

Características del acuífero: El macizo de Amurga es una formación fonolítica en forma de cuña que descansa sobre ignimbritas riolíticas y basaltos miocenos del escudo volcánico canario (Custodio, 1999). Su superficie es de 125 km<sup>2</sup>, su punto mas alto se encuentra a 1191 m.s.n.m. y presenta una pendiente media de 6,6 %. Está hendido por barrancos profundos lo que provoca una orografía accidentada con barrancos de paredes casi verticales. Está limitado lateralmente por dos barrancos principales profundamente excavados, Fataga y Tirajana. En este último aflora el sustrato antiguo. Limita con la costa mediante acantilados y abanicos aluviales de naturaleza torrencial. El origen de la salinidad en las aguas subterráneas está condicionado las escasas precipitaciones de la zona (Custodio, 1993). Se han estimado edades de recarga que pueden llegar hasta los 11ka, coherentes con los espesores no saturados encontrados en este sistema acuífero (Custodio y Custodio, 2001). Existe una diferencia en salinidad y características químicas del agua entre los pozos del Bco. de Fataga (menos salinos y con posible aporte de CO<sub>2</sub> volcánico) y los del Macizo de Amurga (más salinos y sin aporte claro de CO<sub>2</sub> volcánico).

Comprobaciones buscadas: Se determina el valor de  $rCl/rBr$  de muestras de ambas zonas.

Tabla 1. Resultados obtenidos (término municipal de S. Bartolomé de Tirajana, Gran Canaria). Todas las muestras se han tomado en pozos durante bombeo

Clave Muestra	Ident. Lab.	T. Munic. / Paraje	Topónimo	F. Muestreo	Laboratorio	Br (mg/l)	Cl (mg/l)	rCl/rBr
S-1	01/037-01	Bco. Fataga	S-1	mar-01	IGME	0,892	325,89	822
S-2	01/037-02	Bco. Fataga	S-2	mar-01	IGME	0,868	326,37	846
S-3	01/037-03	Bco. Fataga	S-3	mar-01	IGME	1,236	448,97	817
S-12	01/037-04	Bco. Berriel. Amurga	S-12	mar-01	IGME	6,336	1943,65	690
S-27	01/037-05	Bco. Tarajillo. Amurga	S-27	mar-01	IGME	5,297	1683,77	715
S-31	01/037-06	Bco. Berriel. Amurga	S-31	mar-01	IGME	4,064	1238,64	686
S-35	01/037-07	Bco. S. Agustín. Amurga	S-35	mar-01	IGME	8,008	2518,09	707

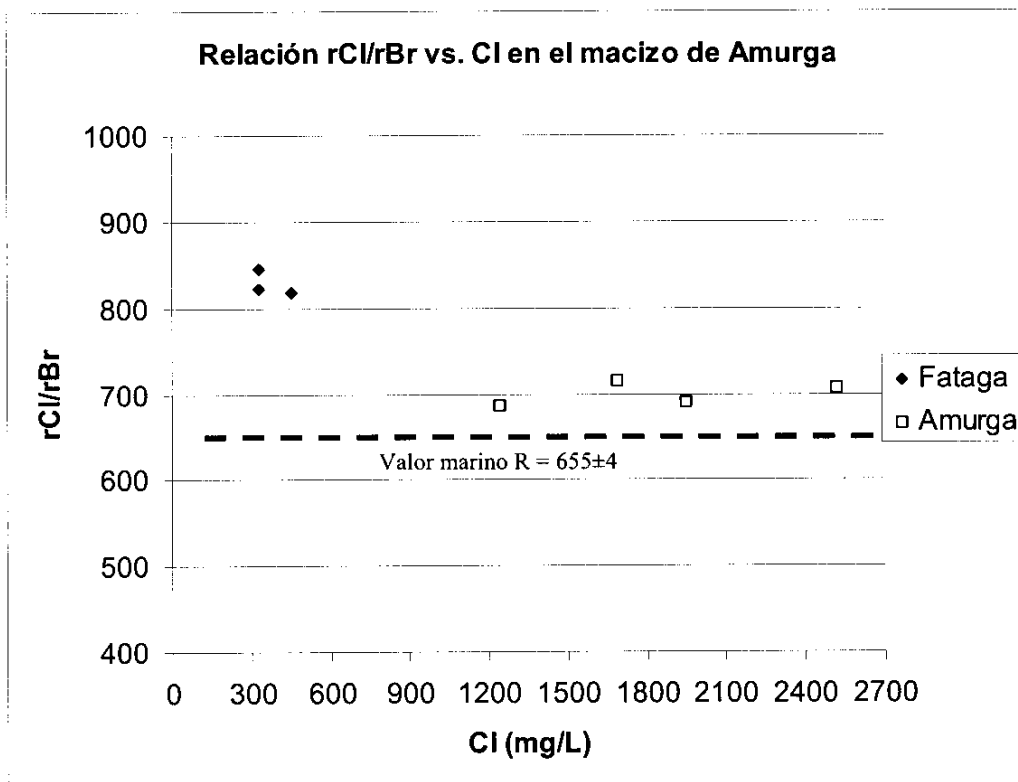


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl

Otros datos y gráficas:

En las muestras anteriores no se ha realizado el análisis químico completo.

---

**Resultados:**

Se han tomado 4 muestras en el Macizo de Amurga y 3 en el Bco. de Fataga. Se han clasificado según este criterio (Tabla 1, Fig. 1).

---

**Discusión:**

En el Macizo de Amurga el valor de  $R = 700 \pm 15$  responde a un aerosol marino algo fraccionado químicamente. No hay relación con la salinidad.



En el Bco. de Fataga el valor de  $R = 830 \pm 15$  indica que al aerosol marino se adiciona un efecto secundario que parece estar en el aporte de  $CO_2$  volcánico profundo.

---

Conclusiones:

El efecto de gases volcánicos parece incrementar el valor de R. En cualquier caso la aridez parece que produce que R sea algo superior al valor marino.

---

Acciones:

Esta zona ha sido caracteriza.

---

Referencias específicas:

- Custodio, E. (1993). Coastal aquifer salinization as a consequence of aridity: the case of Amurga phonolitic massif, Gran Canaria Island. Study and Modelling of Saltwater Intrusion. CIMNE-UPC, Barcelona: 81-98.
- Custodio, E. y Custodio, J. (2001). Hidrogeoquímica isotópica del macizo de Amurga (SE de la Isla de Gran Canaria). En: Las Caras del Agua Subterránea (Eds.: Medina y Carrera). 1: 461-468
- Custodio, J. (1999). *Estudio de las aguas subterráneas del Macizo de Amurga y Barranco de Fataga (sur de Gran Canaria)*. Tesina de Ingeniería. ETS de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona. 107 pp.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**BARRANCO DE LA ALDEA (Gran Canaria)**

Fecha de muestreo: abril 2001 (muestras de AGBAR)

Muestreador: Equipo de trabajo de María del Carmen Cabrera

Descripción: María del Carmen Cabrera, Fina Muñoz

Interpretación: María del Carmen Cabrera, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha de finalización: febrero 2003

Organismos 1: Univ. de Las Palmas

2: IGME

Objetivos:

- Determinar el valor de  $rCl/rBr$  en muestras del acuífero de La Aldea, cuyas aguas están afectadas por varios tipos de salinidad de origen conocido.

Características del muestreo: especificadas en la tabla adjunta.

Características del acuífero: El Valle de La Aldea se puede describir como un lecho de barranco excavado en Basaltos Miocenos (sucesión de coladas y piroclastos de caída). En la parte superior del barranco afloran materiales de la Fm. Traquítico-Riolítica (tobas, ignimbritas y lavas), en contacto tectónico con los basaltos. Al NE de la zona destaca un relieve residual, denominado Las Tabladas, en el que afloran materiales sedimentarios y depósitos volcánicos más modernos. El lecho del barranco está cubierto por una capa de conglomerados aluviales, con un espesor medio de 15-20 m. Todos los pozos situados en la parte central del acuífero explotan agua de los conglomerados aluviales, aunque algunos llegan a los basaltos, extrayendo agua conjuntamente de ambos materiales (SPA-15, 1975; MAC-21, 1980). Así, los basaltos funcionan como un acuitardo frente a los conglomerados, que constituyen el acuífero principal (Muñoz *et al.*, 1996). En total, hay más de 300 captaciones en la zona (pozos de gran diámetro) cuya explotación intensiva provoca un flujo desde los materiales basálticos a los conglomerados, a la que se une la recarga en superficie (retornos de riego principalmente). La transmisividad media del acuífero basáltico es de  $70 \text{ m}^2/\text{día}$  y la del sistema aluvial de  $1000\text{-}3500 \text{ m}^2/\text{día}$ . Se observa intrusión marina muy local en algún pozo de la zona costera.

Desde el punto de vista hidrogeoquímico, el acuífero se caracteriza por un flujo inicial de agua de buena calidad por el aluvial que sufre una progresiva mezcla con aguas salinas a lo largo de su recorrido hacia el mar. Existen tres fuentes distintas de salinidad (Cabrera *et al.*, 2000): aguas procedentes de Las Tabladas (al NE), con una contaminación de origen geológico por lavado de

unos depósitos hidrotermales llamados azulejos (cloruradas sódicas, con conductividades eléctricas que pueden llegar a los 20000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ); aguas situadas en el centro del acuífero, con una salinidad asociada a la presencia de retornos de riego (con altos contenidos en nitratos) y características, en general, del acuífero aluvial de La Aldea; y aguas antiguas en Basaltos (situadas en el Barranco del Salobre, al SE del acuífero principal), cloruradas magnésicas. Durante épocas de sequía y al disminuir el flujo de agua dulce procedente de aguas arriba, de recarga más o menos rápida, se reduce la dilución de las aguas salinas arriba indicadas, lo cual conlleva un aumento en la salinidad del agua explotada. El tiempo de renovación del agua es muy pequeño, quizás de meses en años secos, por lo que la identificación de muestras puede resultar difícil.

Comprobaciones buscadas: Observar los valores de rCl/rBr en algunas muestras de este acuífero.

Tabla 1. Resultados obtenidos. Todas las muestras se han tomado en pozos durante bombeo excepto las tomadas en desalinizadoras, que han sido tomadas en depósitos mediante recipiente

Clave Muestra	T. Municipio / Paraje	Topónimo	F. Muestra	Laboratorio	Br-(mg/l)	Cl-(mg/l)	rCl/rBr
MA-111	LAS MARCIEGAS	0218 O1-Familia de Mario. Junto Depuradora. Paco León	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	17,578	1030,57	132
MA-111	LAS MARCIEGAS	0218 O1-Familia de Mario. Junto Depuradora. Paco León	01-abr-99	Aghar	2,820	1041,14	831
MA-47	LOS MANANTIALES	0243 O1-Hermirio Velazquez	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	50,338	2558,84	114
MA-47	LOS MANANTIALES	0243 O1-Hermirio Velazquez	01-abr-99	Aghar	8,200	2813,09	772
MA-44	BCO.FUREL	0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 3	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	46,343	2487,84	121
MA-44	BCO.FUREL	0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 4	01-abr-99	Aghar	6,210	2042,24	740
MA-44	BCO.FUREL	0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 5	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	9,838	1947,70	445
MA-43	ROSILLO-LA PUNTA	0245 O1-Angulo 5	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	75,906	4193,62	124
MA-43	ROSILLO-LA PUNTA	0245 O1-Angulo 6	01-abr-99	Aghar	16,100	5255,78	734
MA-43	ROSILLO-LA PUNTA	0245 O1-Angulo 7	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	21,868	5166,01	532
MA-49	LAS ROSILLAS	0247 O1-Juan José del Pino	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	57,529	3056,20	120
MA-65	CASTAÑETAS	0309 TP-Teresa Matias	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	28,764	1634,78	128
MA-42	BCO.FUREL	0389 TP-Juan Angulo 4	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	35,955	1705,78	167
MA-42	BCO.FUREL	0389 TP-Juan Angulo 5	01-abr-99	Aghar	5,570	1912,10	702
MA-42	BCO.FUREL	0389 TP-Juan Angulo 6	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	9,066	1934,20	480
MA-47	LOS PASITOS	0411 O1-Antonio Castellano	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	27,165	1598,92	132
MA-47	LOS PASITOS	0411 O1-Antonio Castellano	01-abr-99	Aghar	4,690	1561,72	749
MA-55	CERCADILLOS	0613 O1-Celestino	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	39,950	1741,28	98
MA-55	CERCADILLOS	0613 O1-Celestino	01-abr-99	Aghar	13,700	2302,53	378
MA-59	CASTAÑETAS	0623 O1-Juan Velazquez. Trsu invernadero. Reinaldo	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	37,553	2061,13	123
MA-59	CASTAÑETAS	0623 O1-Juan Velazquez. Trsu invernadero. Reinaldo	01-abr-99	Aghar	10,400	3453,80	747
MA-59	CASTAÑETAS	0623 O1-Juan Velazquez. Trsu invernadero. Reinaldo	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	14,782	3456,35	526
MA-8	BCO. LA ALDEA	0774 TP-Romero 1	01-abr-99	Aghar	57,701	1842,02	77
MA-8	BCO. LA ALDEA	0779 TP-Romero 3	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	16,779	824,67	112
MA-8	BCO. LA ALDEA	0779 TP-Romero 4	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	6,499	1281,25	444
MA-8	EL ARABE	1622 TP-Paquito Juan	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	3,750	787,47	473
MA-8	BCO. LA ALDEA	2714 TP-Bajo el palmeral. San Clemente. José Medina	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	3,694	852,76	507
MA-8	EL FARRÓGERO. La Cruz	2760 TP-Eufemiano Godoy. Cavita pequeña. Juan Godoy Arango	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	2,941	482,92	532
MA-81	BCO. TOCODOMAN	2762 TP-Paco godoy2. Detrás venta	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	37,553	2274,49	136
MA-81	BCO. TOCODOMAN	2762 TP-Paco godoy2. Detrás venta	01-abr-99	Aghar	4,170	1972,17	1064
MA-69		2863 TP-Señor coleta. Carolina	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	25,568	1457,28	128
MA-69		2863 TP	01-abr-99	Aghar	4,310	1521,67	794
MA-116	BCO. DE TOCODOMAN	4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	27,965	1492,78	120
MA-116	BCO. DE TOCODOMAN	4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino	01-abr-99	Aghar	4,900	1671,84	768
MA-116	BCO. DE TOCODOMAN	4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	4,427	991,95	504
MA-113	LA RENTA	4826 TP-Pozo Nazario. Daniel 1	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	19,176	1037,67	122
MA-113	LA RENTA	4826 TP-Pozo Nazario. Daniel 2	01-abr-99	Aghar	3,820	1311,44	772
MA-113	LA RENTA	4826 TP-Pozo Nazario. Daniel 3	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	5,115	1125,85	495
MA-113	S. NICOLAS	4834 TP-TRQ. Iorrea. Tino 2	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	6,287	1318,96	472
MA-63	LADERA DEL PALOMAR. Martel	485 TP-TRQ-3	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	158,204	7676,52	109
MA-63	LADERA DEL PALOMAR. Martel	4858 TP-TRQ-4	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	31,627	7600,55	555
MA-52	BCO. LA ALDEA. Martel	4858A TP-TRQ (Cuco) 1	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	65,519	3305,05	113
MA-52	BCO. LA ALDEA. Martel	4858A TP-TRQ (Cuco) 2	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	21,686	5107,97	530
MA-52	BCO. LA ALDEA	4858B TP-TRQ (Cuco)	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	19,857	4428,10	502
MA-12	BCO. LA ALDEA	4860 TP-Pozo del alcalde (Celestino)	01-nov-97	Hidroanalítica S.L.	63,122	2842,20	101
	BELO. CAIDRILLO. Los Cercadillos	5107 TP-Polo Castellano. Equilibrismo	01-may-00	CSIC-Jaume Almera	9,339	1927,31	464
Daniel. Bruta pozo	01/307-07	Daniel. Bruta pozo	30-abr-01	IGME	4,31	1438	750
Romero. Bruta pozo	01/307-10	Romero. Bruta pozo	30-abr-01	IGME	6,74	1911	638

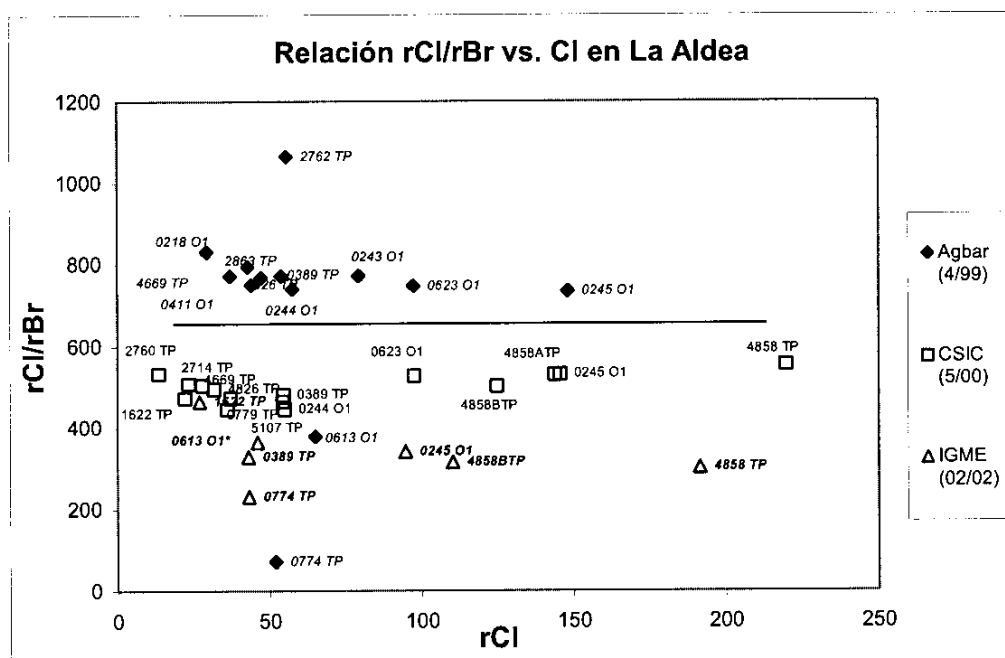


Figura 1. Representación gráfica de la relación  $rCl/rBr$  vs.  $Cl$  de las muestras estudiadas, distinguiendo los resultados de cada laboratorio

Se dispone de muestras de aguas subterráneas analizadas en laboratorios diferentes (Tabla 1, Fig. 1): Hidroanalítica S.L. (año 1997); Aguas de Barcelona (4/1999); CSIC-Instituto Jaime Almera (5/2000) e IGME (02/2002). Se desestiman los resultados procedentes de Hidroanalítica por presentar errores sistemáticos en la determinación de Br; dado que se analizaron por colorimetrías a tiempos controlados y que el cruce con el laboratorio de Aguas de Barcelona dejó claro la existencia de un error sistemático; se ha supuesto que las muestras presentaban algún tipo de compuesto (posiblemente procedente de contaminación por retorno de riegos) que creaba interferencias durante el análisis de Br. El mismo motivo hace desestimar las muestras del laboratorio CSIC- Jaime Almera, analizadas mediante cromatografía iónica. Para resolver este problema, se procedió a muestrear de nuevo dos pozos y enviar muestras de los mismos a los tres laboratorios: CSIC, Agbar e IGME (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados obtenidos en los laboratorios CSIC, AGBAR E IGME

Expediente	Fecha muestra	Cl- (me/l)	rCl/rBr	Laboratorio	Br (me/l)
0245 O1	08/06/02	90.25	588	CSIC	0.13087
0774 TP	08/06/02	41.94	547	CSIC	0.07663
0245 O1	08/06/02	91.28	828	Agbar	0.11013
0774 TP	08/06/02	56.96	808	Agbar	0.07046
0245 O1	08/06/02	94.25	688	IGME	0.13692
0774 TP	08/06/02	48.70	657	IGME	0.07409

Como puede observarse en la Tabla 2 y en su representación gráfica (Fig. 2), los resultados por ahora son dispares, aunque siguen la misma pauta en ambos pozos.

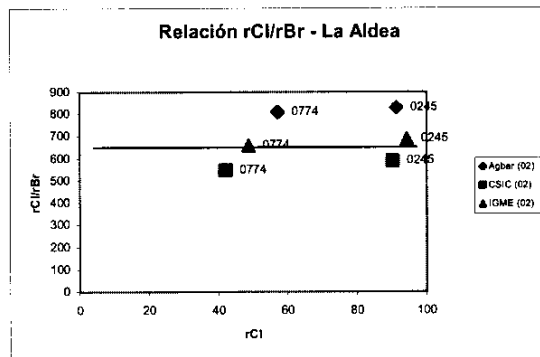


Figura 2. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl de los resultados obtenidos en los laboratorios CSIC, AGBAR E IGME

Tabla 3. Resultados de los análisis químicos realizados por AGBAR e IGME. El tipo de muestreo es igual al indicado para estas muestras en la Tabla 1

T. Mue. / Paraje	Topónimo	F. Muestreo	Laboratorio	Br-(mg/l)	Cl-(mg/l)	rCl/rBr	Clase
LAS MARCIEGAS	0218 O1-Familia de Mario. Junto Depuradora. Paco León	01-abr-99	Agbar	2,82	1041	831	AL
LOS MANANTIALES	0243 O1-Hermilio Velazquez	01-abr-99	Agbar	8,20	2813	772	AL
BCO.FUREL	0244 O1-J. A. Segura. Juan Déniz. Ervigio 4	01-abr-99	Agbar	6,21	2042	740	AL
ROSILLO-LA PUNTA	0245 O1-Angulo 6	01-abr-99	Agbar	16,10	5256	734	A
BCO.FUREL	0389 TP-Juan Angulo 5	01-abr-99	Agbar	5,57	1912	772	AL
LOS PASITOS	0411 O1-Antonio Castellano	01-abr-99	Agbar	4,69	1562	749	B
CERCADILLOS	0613 O1-Celestino	01-abr-99	Agbar	13,70	2303	378	R/A
CASTAÑETAS	0623 O1-Juan Velazquez. Tras invernadero. Resnaldo	01-abr-99	Agbar	10,40	3454	747	A
BCO. LA ALDEA	0774 TP-Romertor I	01-abr-99	Agbar	57,70	1842	72	R
BCO. TOCODOMAN	2762 TP-Paco godoy2. Detrás venta	01-abr-99	Agbar	4,17	1972	1064	B
no disponible	2863 TP	01-abr-99	Agbar	4,31	1522	794	B
BCO DE TOCODOMAN	4669 TP-Junto a riachuelo. Marcelino	01-abr-99	Agbar	4,90	1672	768	B
LA RENTA	4826 TP-Pozo Naranjos. Daniel 2	01-abr-99	Agbar	3,82	1311	772	AL
Daniel. Bruta.pozo	Desalinizadora Daniel	30-abr-01	IGME	4,31	1438	750	B
Romertor Bruta.pozo	Desalinizadora Romertor	30-abr-01	IGME	6,74	1911	638	B

AL Muestras tomadas en pozos que captan el Aluvial del Bco. de La Aldea  
 A Muestras afectadas parcialmente por lavado de los Azulejos  
 B Aguas que explotan total o parcialmente los basaltos  
 R Muestras afectadas por retornos de riego

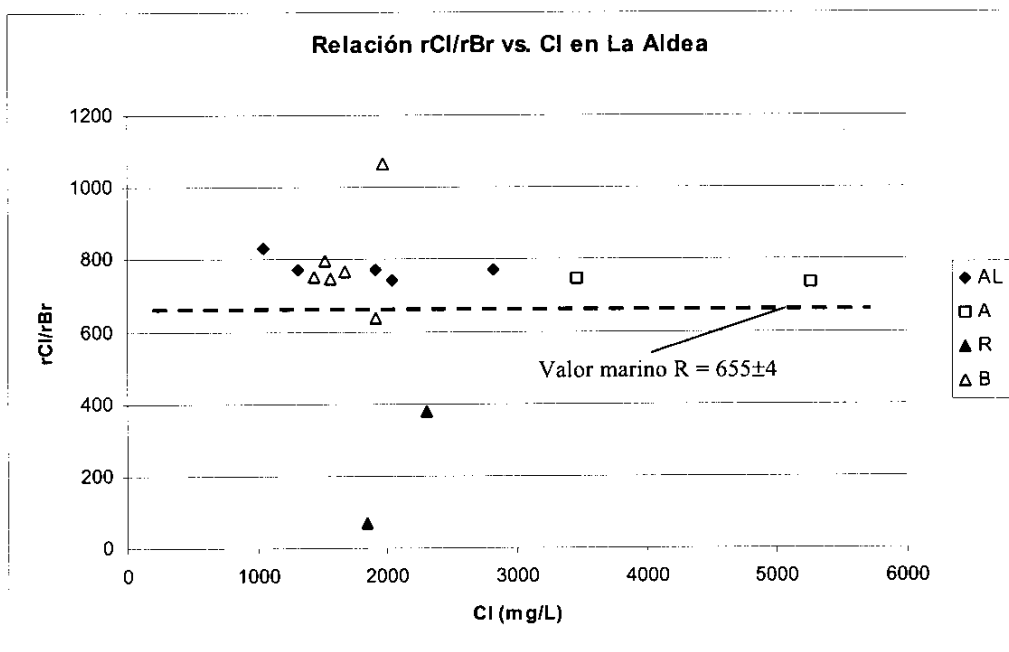


Figura 3. Representación de los resultados obtenidos en los laboratorios de AGBAR e IGME

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de análisis químicos de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas; y también de localización geográfica de los puntos de agua y las características de muestreo.

---

#### Resultados:

Se ha estudiado 46 muestras para periodos similares analizadas en 3 laboratorios diferentes (Tabla 1, Fig. 1). De los 3 laboratorios, solo el laboratorio de AGBAR determina el Br mediante Cromatografía Iónica, método idóneo para la determinación de este elemento. Por ello, solo se estudiarán los 13 resultados analíticos que han utilizado este método de determinación, correspondientes a 1999. Los resultados obtenidos (Tabla 3, Fig. 3) pertenecen a un muestreo selectivo de muestras afectadas parcialmente por lavado de los azulejos (A), muestras tomadas en el aluvial detrítico (AL), muestras captadas mayoritariamente en los basaltos miocenos (B) y muestras tomadas en el aluvial que están claramente afectadas por retornos de riego (R). Dos muestras analizadas en el laboratorio del IGME de pozos de extracción de 2 desalinizadoras (Daniel, pozo particular y de la empresa Romertor), captan agua de los basaltos miocenos (B).

---

#### Discusión:

Se han descrito las fuentes de salinidad existentes en el acuífero de La Aldea (Cabrera *et al.*, 2000).

Los pozos que explotan directamente los basaltos (B), con aguas cloruradas magnésicas, presentan una salinidad debida a largos tiempos de residencia en el acuífero y un valor de  $R = 740 \pm 60$ ; estos datos incluyen las 2 muestras tomadas en 2 desalinizadoras. La muestra 2772 TP, atribuida a agua de los basaltos, presenta un valor de  $R = 1064$ , sin poder discriminar, a partir de la química disponible, una causa que justifique este valor. Se indica que el valor de R del agua de lluvia local oscila entre  $1350 \pm 520$  a cota 14 m,  $1570 \pm 1180$  a cota 188 m y  $1750 \pm 1360$  a cota 338, pudiendo estar el valor R del agua de los basaltos condicionado por la presencia significativa de agua proveniente de recarga antigua y mezcla con agua del aluvial.

Los pozos muestreados afectados por lavado parcial de los azulejos en la zona de Tabladas (A) tienen un valor de  $R = 740 \pm 6$ , igual al obtenido para las muestras tomadas en los basaltos. Existe una muestra anómala (0613 O1) que tiene un valor de  $R = 378$ . Esta muestra presenta altos contenidos en nitratos y sulfatos, lo que hace sospechar que su alto contenido en Br sea debido a la presencia de aguas de retornos de riego que pueden incluir plaguicidas (bromuro de metilo).

La muestra 0774 TP está afectada por retornos de riegos (R). Presenta altos contenidos en nitratos. En la actualidad este pozo es utilizado para alimentar una estación desalinizadora para uso agrícola. Su valor de  $R = 72$ , no hace presumible que este valor esté condicionado por el proceso de desalinización (ver ficha de complementaria del estudio de rCl/rBr en muestras brutas, rechazo y producto en desalinizadoras de La Aldea) sino por retornos de riego muy localizados que son continuamente recirculados por el bombeo.

El resto de muestras, interpretadas como características de las aguas del aluvial detrítico (AL), incluyen aguas de diferentes procedencias y orígenes de salinidad (retornos de riego, lavado de azulejos, basaltos...). Su valor de  $R = 800 \pm 30$ .

---

#### Conclusiones:

Se han obtenido los valores de la relación  $rCl/rBr$  para muestras de agua procedentes de pozos que explotan el aluvial detrítico del acuífero de La Aldea, los basaltos miocenos, muestras afectadas por retornos de riego y otras que incluyen lavado de los azulejos. EL valor de  $R$  para estos 3 grupos oscila entre 740 y 800. A pesar de esta escasa variación, las muestras claramente afectadas por retornos de riegos presentan  $R < 400$ , posiblemente debido a la incorporación de plaguicidas del tipo bromuro de metilo. La muestra 7272 TP, asignada a los basaltos presenta un valor de  $R = 1064$ , sin poder aclarar, con la química disponible, las causas exactas que condicionan este valor. Se apunta la posibilidad de que esta muestra incluya, significativamente, agua de recarga de lluvia antigua.

---

#### Acciones:

Esta zona ha quedado caracterizada a grandes rasgos y no necesita seguir siendo estudiada.

---

#### Referencias específicas:

- Cabrera, M. C., Delgado, F., Muñoz, J., Pérez Torrado, F. J. y La Moneda, E. (2000). Caracterización de las familias hidrogeoquímicas en el acuífero de La Aldea (Gran Canaria). *Geotemas*,1(2): 47-50.
- MAC-21 (1980). Proyecto de planificación y explotación de los recursos de agua en el Archipiélago Canario. Com. Interministerial coord.. Est. Mat. Aguas Canarias.
- Muñoz, R., Cabrera, M. C., Hernández, F. y Socorro, A. R. (1996). *Development of analytical and sampling methods for priority pesticides and relevant transformation products in aquifers*. Final Project Report. EU Contract EV5V-CT93-0322-Group 4. 87 pp + Appendix.
- SPA-15 (1975). *Estudio científico de los recursos de agua en las Islas Canarias (SPA/69/515)*. Minist. Obras Públ., Dir. Gral. Obr. Hidr. UNESCO. Las Palmas de Gran Canaria, Madrid. 3 Vol. + Mapas.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**POZOS, MANANTIALES Y GALERÍAS EN LAS ISLAS DE LA PALMA, GRAN CANARIA Y TENERIFE**

Fecha de muestreo: Gran Canaria y Tenerife (1987); La Palma (1988)

Muestreador: Equipo del Proyecto "CoCo-Canarias" (S.N. Davis, E. Custodio, J.A. Núñez, Ann Veeger, becarios)

Descripción: Emilio Custodio

Comentarios: Emilio Custodio

Interpretación: Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Fecha: septiembre 2003

Organismos 1: IGME

Objetivos:

- Caracterizar el valor de R en muestras tomadas en islas volcánicas cuya salinidad está asociada a efectos diversos (presencia de gas de origen volcánico, efecto costero, efecto climático árido, contaminación agrícola por nitratos), considerando, zonas de cumbres, zonas de media ladera y zonas litorales de Gran Canaria, Tenerife y La Palma.

Características del muestreo: puntos seleccionados, con determinaciones en campo y acondicionamiento de las muestras

Características del acuífero: materiales volcánicos insulares, predominantemente basálticos. Áreas desde húmedas a áridas. Nivel freático en general profundo.

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor de  $rCl/rBr$  de muestras con origen conocido de la salinidad, tomadas en diversos pozos, nacientes y galerías de las Islas de Gran Canaria, Tenerife y La Palma (Islas Canarias).



Tabla 1.- Resultados en las islas de Gran Canaria y Tenerife (muestreo en 1987)

Orden	Lugar	Cloruros (mg/L)					Br (mg/L)		Cód. Local.	Cód. Efectos
		Campo	UAT	ATIL	CI-UAT	Adoptado	UAT	rCl/rBr		
GC-1	Pozo Lomo Mireles (Agüimes)	309	305	418	402	401	1,039	869	L	G
GC-2	Pozo El Rayón (Juan Grande)	1422	1492	1451	1452	1452	4,874	670	L	E
GC-3	Pozo S-9 Elmasa (Amurga)	2043	1814	1803	1802	1803	5,034	806	L	E
GC-4	Fuente Agría (Teror)	45,1	52,2	51,1	52,9	49,7	0,200	560	M	A, G
GC-5	Chorro de María Manuela (Teror)	60,2	66,0	68,2	64,3	63,9	0,200	720	M	A
GC-6	Pozo Cabuco (Galdar)	1092	586	597	591	593	2,797	477	L	A
GC-8	Galería Nueva (Hoya del Gamonal)	9,9	7,5	10,3	7,1	8,9	0,447	446	C	
GC-10	Fuente de Capellania (Cumbre)	22,0	18,1	17,0	16,0	17,8	0,080	500	C	
TF-15	Galería de San Andrés (Anaga)	-	136	136	128	135	0,344	884	M	
TF-16	Gal. Los Riachuelos (azulejos) (Las Cañadas)	-	4,3	8,5	4,3	4,3 (i)	0,020	480 (i)	C	
TF-18	Madre del Agua (Boca de Tauce)	5,0	5,7	8,5	5,7	5,7 (i)	0,025	516 (i)	C	
TF-19	Galería El Pinalito (345 m)	1,8	4,3	8,5	4,6	4,6 (i)	0,020	520 (i)	C	G
TF-20	Galería El Pinalito (1080 m)	0,7	2,5	11,0	5,0	4,9 (i)	0,020	560 (i)	C	G
TF-21	Pozo El Puerto (La Orotava)	41,9	47,9	61,4	58,2	60,4	0,400	340	C	A
TF-22	Galería El Cubo	1,4	28,0	37,6	34,4	35,5	0,104	769	M	G
TF-23	Galería San Fernando (canal de frente)	1,1	34,1	39,1	36,2	35,5	0,128	625	M	G
TF-24	Galería San Fernando (canal de 100 m)	22,0	24,1	29,1	23,4	24,9	0,104	538	M	
TF-26	Pozo Blanco (Güímar)	266	249	273	265	266	1,039	577	L	A
TF-27	Galería Salto Azul (Fasnia)	2,8	15,3	20,6	18,5	17,8	0,070	568	C	
TF-28	Pozo Saltadero de los Abejorros (Arico)	800	574	563	566	564	1,838	691	L	E

UAT University of Arizona, Tucson  
 ATIL Laboratorio privado, Barcelona  
 CI-UAT Cromatografía iónica en UAT

i = incierto

Localización: C= Cumbres

M= Medianías

L= Litoral/costero

Salinidad: G= Gas/vulcanismo joven

A= Efecto agrícola

E= Efecto climático árido

Tabla 2.- Resultados en la isla de La Palma (muestreo en 1988)

Muestra	Topónimo	Cota m	Cl mg/L	NO <sub>3</sub> mg/L	Br mg/L	rCl/rBr	Tipo	Cód. Local.	Cód. Efectos
1	Naciente Las Goteras, costa E	80	1506,0	0	3,495	971	?-Cl	L	G
2	Naciente Los Rocques, Fuenencaliente, S	1110	28,1	0	0,051	1242	Na-CO <sub>3</sub> H	L	G
3	Naciente Los Quemados, Fuenencaliente, S	395	50,4	0	0,063	1803	Na	L	G
4	Gal. Aridane (El Fuerte), El Paso, caldera E	1400	6,1	0	0,028	491	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
5	Gal. L. Faya, El Paso, caldera E	1300	8,3	0	0,040	469	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
6	Gal. Altaguna, El Paso, caldera E	1320	5,4	2	0,033	370	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
7	Gal. Guanches, El Paso, caldera E	1500	7,1	0	<0,025	---	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
8	Gal. Verduras de Afonso, El Paso, caldera E	1300	3,5	2	0,026	304	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
9	Nac. Ribancera, El Paso, fondo caldera	500	43,6	0	nd	---	Ca-SO <sub>4</sub>	C	G
10	Sondeo Dos Aguas, El Paso, fondo caldera (gas)	430	10,6	0	nd	---	Ca-CO <sub>3</sub> H	M	G
11	Gal. Salto Puercos, El Paso, S caldera	800	23,9	1	0,064	841	Na-CO <sub>3</sub> H	M	
12	Pozo El Salto, Tzacorte	110	31,1	72	0,302	232	Na-CO <sub>3</sub> H	L	A
13	Pozo Peña Horelo, Puertos Naos, Los Llanos	40	87,5	7	0,275	717	CO <sub>3</sub> H	L	
14	Pozo Duque (Las Angustias), Tijarafe	100	44,4	59	0,320	313	CO <sub>3</sub> H	L	A
15	Pozo Prosperidad (Las Angustias), Tzacorte	56	43,0	80	0,315	309	Na-CO <sub>3</sub> H	L	A
16	Pozo Zona Alta (Las Angustias), Los Llanos	76	47,4	111	0,388	275	Na-CO <sub>3</sub> H	C	A
17	Nac. Cordero, NE, San Andrés	1420	5,1	3	0,027	426	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
18	Nac. Marcos, NE, San Andrés	1360	4,4	2	0,024	412	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
19	Nac. Toro, NE, San Andrés	155	34,4	93	0,270	286	Na-CO <sub>3</sub> H	L	A
20	Gal. Girineldos, NE, Barlovento	300	9,8	3	0,050	441	CO <sub>3</sub> H	M	
21	Gal. Pajaritos, NE, Barlovento	375	7,0	1	0,038	414	CO <sub>3</sub> H	M	
22	Pozo California, NE, San Andrés costa	15	101,9	138	0,730	315	Na?	L	A
23	Gal. Garcés, NE, San Andrés	1180	5,9	1	0,033	403	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
24	Gal. San Andrés, NE, San Andrés	580	8,2	2	0,029	638	CO <sub>3</sub> H	C	
25	Gal/Nac El Río, N, Barlovento	1010	17,1	0	0,039	987	CO <sub>3</sub> H	C	
26	Gal. Salto Cañas, Caldera N, El Paso	800	8,7	2	0,038	516	Na-CO <sub>3</sub> H	C	
27	Nac. Mimbrenas, N, Barlovento	760	38,2	6	0,074	1163	Cl	C	A
28	Nac. Franceses, N, Barlovento	1020	24,6	1	0,046	1206	CO <sub>3</sub> H	C	
TEEN	Lapilli del Teneguia (1971) fresco		300 ppm		5,7 ppm	119			
SSN	Lapilli de San Juan (1949) algo alterado		360 ppm		5,8 ppm	140			
SGB	Lapilli de San Juan (1949) poco alterado		590 ppm		5,3 ppm	251			

Determinaciones realizadas en la Universidad de Arizona, Tucson

nd = no determinado

El lixiviado del lapilli con agua no da concentraciones medibles de Br

Localización: C= Cumbres

M= Medianías

L= Litoral/costero

Salinidad: G= Gas/vulcanismo joven

A= Efecto agrícola

E= Efecto climático árido



---

## Resultados:

El muestreo se realizó en las islas de Gran Canaria y Tenerife en 1987 dentro del Proyecto CCA-8510/001 (1985) "CoCo-Canarias". Se ha dispuesto de 8 muestras tomadas en Gran Canaria y 12 en Tenerife (Tabla 1) que fueron analizadas en la Universidad de Arizona (Tucson) convencionalmente y mediante cromatografía iónica y en el Laboratorio privado ATIL (Barcelona) mediante colorimetría. En la isla de La Palma (Veeger, 1991) se han estudiado 28 muestras, 25 de aguas de pozos, nacientes y galerías y 3 de lavado de lapilli (Tabla 2) que han sido analizadas en la Universidad de Arizona (Tucson). Se ha caracterizado conjuntamente el valor de R de todas estas muestras atendiendo inicialmente a su localización geográfica (muestras en las cumbres, muestras a cotas medias y muestras litorales o costeras) y posteriormente se ha indicado, en cada una de ellas, los procesos que presumiblemente modifican sus características de salinidad inicial: presencia de gas de origen volcánico (G), afecto agrícola (A) y efecto costero árido (E). Los resultados se han representado de forma conjunta para las tres islas en la Figura 1, siguiendo las claves de clasificación de la Tabla 3.

---

## Discusión:

Existen circunstancias y comportamientos diversos que se muestran en la Figura 1, y que en primera aproximación pueden agruparse de la forma siguiente.

Las aguas subterráneas de cumbres de La Palma y Tenerife, y en parte también de Gran Canaria, de pequeña salinidad, tienen R entre 400 y 600 como intervalo más probable, con una tendencia a crecer cuando crece el Cl. La tendencia al crecimiento es muy acusada para La Palma y más moderada para Tenerife y Gran Canaria. En ambos casos se tiende a superar el valor marino, de forma mucho más clara en La Palma. El efecto volcánico manifiesto por la presencia de gas no parece influir en la tendencia general. Tampoco la supuesta influencia de retornos agrícolas. Parece tratarse de una característica inherente a la génesis hidroquímica de esas aguas subterráneas. Una posible explicación es la adición de Cl litológico o endógeno empobrecido en Br. Sin embargo esta posibilidad no concuerda con el Cl enriquecido en Br de las muestras de lapilli (picón) reciente.

Las aguas subterráneas muestreadas en áreas costeras, en general áridas, muestran un muy claro incremento de Cl en Gran Canaria y Tenerife, y en un caso en La Palma, pero la relación R rebasa el valor marino. En La Palma, con un débil incremento de salinidad (menor aridez y posible transferencia desde la cumbre) se supera mucho el valor marino de R y se extiende la evolución de las aguas de cumbre. El muestreo en vulcanitas jóvenes no cambia la tendencia, que es contraria a la esperable de los análisis del lapilli. Se refuerza la sospecha de una fuente de Cl empobrecida en Br, que explicaría que las aguas más salinas de Gran Canaria y Tenerife rebasen el valor de R marino por mezcla con el aporte con el aerosol marino común. Esa fuente de Cl empobrecido en Br podría ser sal marina fraccionada químicamente por

evaporación parcial, bien sea en áreas de mar muy batido o por concentración geotérmica temporal en sistemas abiertos en los que se llegue a depositar halita en zonas de alteración.

Existe un grupo de muestras de agua subterránea con Cl entre 30 y 100 mg/L y R entre 250 y 350, cuyo origen es probablemente de cumbres (aunque se hayan captado en áreas costeras), en las que coinciden rasgos de contaminación agrícola (alto contenido de  $\text{NO}_3$ ). Puede tratarse de una simple evapoconcentración de aguas de cumbres, sin que los abonos aporten Cl o lo modifiquen, o con cierto aporte preferente de Br por los productos agroquímicos (lo que explicaría la tendencia a valores bajos de R respecto a las aguas de cumbres).

---

#### Conclusiones:

La recarga en áreas de cumbres es poco salina (4-20 mg/L) con valores de R de  $500 \pm 80$ , que cabe considerarlos normales. Los valores mayores de Cl se producen o bien por mayor contribución del aerosol marino en áreas costeras áridas (con gran evapoconcentración) o por adición de una fuente de Cl empobrecido en Br, o por ambos efectos simultáneamente. Eso lleva a que sea frecuente encontrar aguas subterráneas con R mayor que el valor marino. El origen de ese cloruro es especulativo y podría ser tanto un notable fraccionamiento químico del aerosol marino en áreas costeras áridas y con mar agitado como el resultado de halita residual atrapada en vulcanitas alteradas geotérmicamente por agua marina. El Cl volcánico del lapilli fresco se muestra enriquecido en Br (R pequeña).

La contaminación agrícola no parece tener otro efecto que el de la evapoconcentración, no afectando a la relación R, o como mucho, disminuyéndolo algo por posibles contenidos de Br en los productos agroquímicos.

---

#### Acciones:

En esta zona ha quedado caracterizado el valor de R.

---

#### Referencias específicas:

- Proyecto CCA-8510/001 (1985). Recarga en islas volcánicas. Universitat Politècnica de Catalunya / University of Arizona. U.S. – Spain Joint Committee for Scientific and Technological Cooperation (Proyecto "CoCo-Canarias").
- Vegeer, A. I. (1991). *Geochemical methods for evaluating the origin and evolution of groundwater in volcanic rocks*. Ph. D. Thesis. Dep. Hydrology and Water Resources. University of Arizona.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN CI/Br

Lugar de ensayo:

### **MUESTRAS INDIVIDUALES DE DIFERENTES ACUÍFEROS**

1. Sierra Nevada: Puerto de la Ragua (Almería) y Capileira (Granada)
2. Acuífero Plioceno de Niebla-Posadas (Sevilla)
3. Agua de lluvia en Sotos (Cuenca)
4. Delta del Ebro (Tarragona)
5. Serra de Tramontana (Mallorca)

Fecha de muestreo:

- |  |            |
|--|------------|
| 6. Sierra Nevada: Pto. Ragua (Almería) y Capileira (Granada) | 03-2002    |
| 7. Acuífero Plioceno de Niebla-Posadas (Sevilla)             | 03-2001    |
| 8. Agua de lluvia en Sotos (Cuenca)                          | 03-2001    |
| 9. Delta del Ebro (Tarragona)                                | 06-1992-96 |
| 10. Serra de Tramontana (Mallorca)                           | 03-2001    |

#### **Sierra Nevada: Puerto de la Ragua (Almería) y Capileira (Granada):**

Muestreador: Francisco Javier Alcalá

Descripción: Francisco Javier Alcalá

Comentarios: Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Francisco Javier Alcalá

#### **Acuífero Niebla-Posadas (Sevilla):**

Muestreador: Marisol Manzano

Descripción: Marisol Manzano

Comentarios: Marisol Manzano

Interpretación: Emilio Custodio, Marisol Manzano

#### **Agua de lluvia en Sotos (Cuenca):**

Muestreador: Marc Martínez

Descripción: Marc Martínez

Comentarios: Francisco Javier Alcalá

Interpretación: Francisco Javier Alcalá

#### **Delta del Ebro (Tarragona):**

Muestreador: Emilio Custodio, Carlos Loaso (Agencia Catalana del Agua, ACA)

Descripción: Emilio Custodio

Comentarios: Emilio Custodio

Interpretación: Emilio Custodio

#### **Serra de Tramontana (Mallorca):**

Muestreador: María Rosa Mateos (IGME, Oficina de Palma)

Descripción: María Rosa Mateos

Comentarios: Emilio Custodio, Francisco Javier Alcalá

Interpretación: María Rosa Mateos

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: junio 2003

Organismos 1: IGME  
2: UPC  
3: ACA

**Objetivos:**

- Determinar el valor de la relación  $rCl/rBr$  de diferentes muestras individuales tomadas en distintos acuíferos

**Sierra Nevada: Puerto de la Ragua (Almería) y Capileira (Granada):**

*Características del muestreo:* mediante un recipiente.

*Características del acuífero:* Se trata de dos manantiales. La Fuente de las Yeguas (Pto. de la Ragua) está alimentada por el deshielo primaveral en Sierra Nevada a 2300 m de altitud. El agua presenta escaso recorrido por el terreno, ya que la cota máxima local es de 2600 m. La muestra es bicarbonatada-cálcica-sódica. La orientación de la montaña es E-W, lo que permite la entrada de borrascas provenientes del Atlántico que recorren el Valle del Guadalquivir. Tiene un contenido en nitratos relativamente alto (4 mg/L). La Fuente de la Estación en Capileira (Granada) está localizada aguas abajo de esta localidad de unos 500 habitantes situada en la vertiente sur de Sierra Nevada a 1436 m. Su alimentación proviene del agua de deshielo y lluvia en Sierra Nevada. El agua es bicarbonatada cálcica. Presenta leves signos de afección por aguas usadas urbanas y se sospecha cierta afección de retornos de riego.

**Acuífero de Niebla-Posadas (Sevilla):**

*Características del muestreo:* ver Tabla 1 (muestra MM)

*Características del acuífero:* El acuífero Niebla-Posadas se localiza en el NO de la provincia de Sevilla y NE de la de Huelva. Se trata de un nivel confinado poco potente (entre 10 y 25 m) de sedimentos aluviales Neógenos discordantes sobre el Paleozóico. A techo aparecen unas margas azules marinas que transmiten aguas salinas al acuífero. La recarga al acuífero se produce por infiltración de lluvia, transferencias laterales y retornos de riego (Ayora *et al.*, 2001) en sus afloramientos en la zona norte. El agua del acuífero es marcadamente clorurada sódica, igual que la de las margas azules, mientras que las asociadas a las formaciones geológicas adyacentes son sulfatadas-cálcicas y bicarbonatadas-cálcicas (Manzano *et al.*, 2001). El carácter clorurado-sódico del agua del Niebla-Posadas se atribuye a la transferencia de sales intersticiales de origen marino desde las margas azules suprayacentes.

**Agua de lluvia en Sotos (Cuenca):**

*Características del muestreo:* mediante recipiente.

*Características:* La muestra corresponde a un evento de lluvia (deposición húmeda) muestreado en la localidad de Sotos (Cuenca) a 991 m.s.n.m. y próxima al río Júcar. La cota más elevada local es el monte Losares (1358 m). El ambiente de muestreo es eminentemente agrícola.

**Delta del Ebro (Tarragona):**

*Características del muestreo:* mediante tomamuestras sumergible.

*Características del acuífero:* La muestra estudiada se ha tomado en un nivel

detritico somero limitado a techo por un material limo-arcilloso (denominado localmente solera de cultivo) con abundante materia orgánica de la franja costera del delta del Ebro. El agua de estos niveles acuíferos presenta contenidos de Cl que pueden llegar a cuadruplicar el valor marino (Custodio y Herrera, 2000). Se trata de aguas hipersalinas de origen marino.

### Serra de Tramontana (Mallorca):

*Características del muestreo:* Recipiente (Pozo surgente).

*Características del acuífero:* El agua captada pertenece al acuífero calcáreo confinado del Lias de la Serra de Tramontana, donde existen aguas termales producto de una anomalía térmica que afecta a las aguas de los materiales calizos del Lias (Cardoso, 1997). El agua es sulfatada-cálcica y su salinidad está asociada a la disolución de evaporitas (yesos). El muestreo se ha realizado en una captación surgente en la localidad de Puig Punyent (extremo meridional de la isla de Mallorca).

Comprobaciones buscadas: Observar el valor de rCl/rBr en estas muestras diversas cuyo origen de salinidad es conocido.

1. Sierra Nevada; Puerto de la Ragua (Almería): agua de recarga regional; y Capileira (Granada): agua de escasa salinidad a cota elevada modificada por acciones antrópicas
2. Acuífero Mioceno de Niebla-Posadas (Sevilla): agua de salinidad marina residual asociada a las margas
3. Agua de lluvia en Sotos (Cuenca): Obtener el valor de R del agua de lluvia (deposición húmeda) en una zona agrícola elevada del interior peninsular
4. Delta del Ebro (Tarragona): agua hipersalina de origen marino
5. Serra de Tramontana (Mallorca): salinidad generada por la disolución de evaporitas triásicas

Tabla 1. Resultados obtenidos

Clave Muestra	Proy.	Ident. Lab.	T. Munic. / Paraje	Topónimo	Captación	M. Muestreo	F. Muestreo	Lab.	Br-(mg/L)	Cl-(mg/L)	rCl/rBr
S* Nevada	AL	02/278-06	Pto. de la Ragua	Fuente de las Yeguas	MAN	REC	15-mar-02	IGME	0,01	1,0	225
Manantial Capileira	GR	03/186-11	Capileira	Fuente de la Estación	MAN	REC	24-dic-02	IGME	0,0045	3,0	1500
Lluvia Sotos	CU	01/090-01	Sotos	Sotos	AL	REC	mar-01	IGME	0,02	5,5	818
Mijorn	T	-	Delta Ebro	Mijorn	SP	TMS	jun-92	ATIL	225,00	61770	618
Mijorn	T	-	Delta Ebro	Mijorn	SP	TMS	jun-99	IGME	175,30	51633	663
MM	SE	01/312-01	Niebla	Carachuesos	SP	TMS	11-abr-01	IGME	0,97	284,3	660
3827 1.0003	PM	01/110-01	Puig Punyent	Pozo Surgente	PB	MBP	23-mar-01	IGME	0,09	38,4	946

#### CLAVES CAPTACIÓN

Sondeo Puntual SP  
 Pozo en Bombeo PB  
 Manantial MAN  
 Agua de Lluvia AL

#### CLAVES MET. MUESTREO

Muestra de Bombeo de Pozo  
 Tomanuestras Sumergible  
 Recipiente

MBP  
 TMS  
 REC

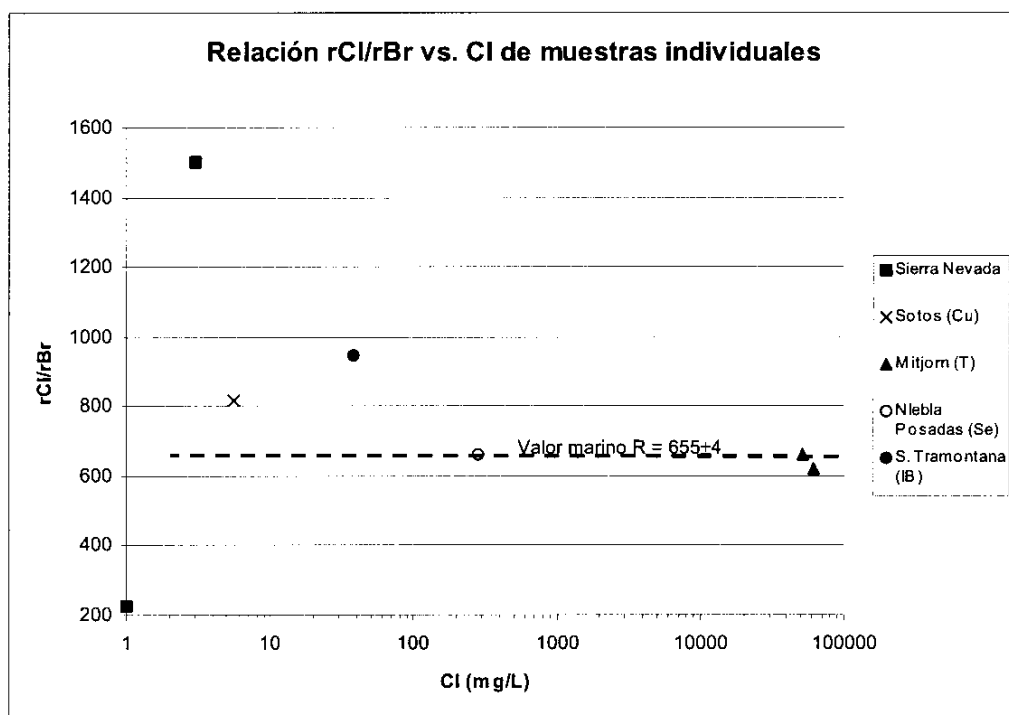


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl

#### Otros datos y gráficas:

Se dispone de analítica de elementos mayoritarios, minoritarios y trazas en la muestra de Niebla-Posadas y Delta del Ebro; sólo mayoritarios en las muestras de Sierra Nevada y Serra Tramontana; y ningún tipo de dato adicional al incluido en esta ficha en Sotos (Cuenca).

---

#### Resultados:

Ver tabla de resultados

---

#### Discusión:

##### **Sierra Nevada: Puerto de la Ragua (Almería) y Capileira (Granada):**

La muestra de la Fuente de las Yeguas (Pto. de la Ragua) representa el deshielo en Sierra Nevada durante octubre-marzo de 2001. Se trata de aguas con muy poca interacción con la roca (Gisbert *et al.*, 1998). El valor de  $R = 221$  y su contenido en Cl = 0,98 mg/L deben estar asociados a un aerosol marino muy fraccionado por efecto de altitud.

La presencia de aguas usadas, aunque en poca cantidad, en la Fuente de la Estación de Capileira (Granada) hace elevar el valor de R hasta 1500, debido principalmente a la incorporación de halita de uso doméstico. Su contenido en Cl es de 3 mg/L.



### ***Acuífero Niebla-Posadas (Sevilla)***

El valor de  $R = 660$  es similar al valor marino y está de acuerdo con la naturaleza clorurada sódica y origen de la salinidad de las aguas propuesta por Ayora *et al.* (2001).

### ***Agua de lluvia en Sotos (Cuenca)***

El valor de  $R = 818$  del agua de lluvia (deposición húmeda) puede obedecer a la incorporación de Cl proveniente de emisiones locales, comunes en zonas agrarias como la quema de rastrojos, plásticos, etc... La cota de muestreo no parece que sea causa de este valor aunque si de su escaso contenido de Cl (5,5 mg/L).

### ***Delta del Ebro (Tarragona)***

Los valores de  $R = 663$  y  $618$  están de acuerdo con el origen de la salinidad admitido para aguas marinas hipersalinas. Los datos isotópicos disponibles de estas muestras advierten afección por procesos de evaporación. La primera muestra ha sido analizada mediante cromatografía iónica de alto rendimiento (paso lento, HPLC), mientras que la segunda se ha determinado mediante el método colorimétrico con tiempo de reacción controlado (laboratorio ATIL).

### ***Serra de Tramontana (Mallorca)***

La salinidad de esta muestra, de naturaleza sulfata cálcica, se asocia a la disolución de evaporitas triásicas. El valor de  $R = 946$  es algo superior al valor marino, mientras que su contenido en Cl es bajo. Se desconoce si los procesos termales podrían influir en el valor de  $R$ .

---

### **Conclusiones:**

El valor de  $R$  del agua de la Fuente de las Yeguas (Puerto de la Ragua) en Sierra Nevada (Almería) es bajo, indicativo de fraccionamiento por efecto de la altitud y distancia al mar del aerosol marino.

El valor de  $R = 1500$  de la Fuente de la Estación, aguas debajo de la localidad de Capileira (Granada) está debido a la incorporación de aguas usadas que suelen incorporar halita de uso doméstico.

El valor de  $R$  de la muestra del acuífero de Niebla-Posadas (Sevilla) es similar al marino, aspecto esperable.

El valor de  $R = 818$  del agua de lluvia (deposición húmeda) de Sotos (Cuenca) parece estar debido a una incorporación preferencia del Cl posiblemente derivado de las prácticas agrícolas.

Las muestras tomadas en el Delta del Ebro (Tarragona) corresponden a un agua hipersalina de origen marino afectada por evaporación en grado no conocido.

El valor de  $R$  es igual o levemente inferior al valor marino, aspecto esperable. La muestra tomada en la Serra de Tramontana (Mallorca) está afectada por termalismo y su origen de la salinidad está ligado a disolución de evaporitas. El valor de  $R$  es superior al marino.

Acciones:

Se concluye el estudio.

---

Referencias específicas:

- Ayora *et al.* (2001). Hidrogeología del valle del Guadiamar y zonas colindantes. Funcionamiento del sistema acuífero. En: Las aguas y Suelos tras el accidente de Aznalcóllar. C. Ayora *et al.* (Eds.). *Bol. Geol. Min. España*, 69-92.
- Cardoso, G. (1997). *Comportamiento de los manantiales del karst nororiental de la Serra de Tramuntana, Mallorca*. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Cataluña. 361 pp + anexos.
- Gisbert J., Pulido Bosch A. y Al Alwani G. (1998). On the characterization of hydrologic behavior of a high mountain schistous catchment. *Münchener Geologische Hefte*, B8, 29-34.
- Manzano, M.; Soler, A.; Carrera, J. y Custodio, J. (2001). *Composición isotópica ( $^{18}\text{O}$ ,  $^2\text{H}$ ,  $^{34}\text{S}$ ) de las aguas del área afectada por el vertido minero de Aznalcóllar (SO España)*. En: Las Caras del Agua Subterránea, J. Carrera y A. Medina (Eds.). Serie Hidrogeología y Aguas Subterráneas, 1-2001, IGME, Madrid: 477-487.

## ENSAYO DEL VALOR HIDROGEOLÓGICO DE LA RELACIÓN Cl/Br

Lugar de ensayo:

**POLO INDUSTRIAL DE HUELVA (Huelva)**

Fecha de muestreo: julio - diciembre 2000

Muestreador: Andrés Alastuey y Xavier Querol (Institut de Ciències de la Terra "Jaume Almera")

Preparación del lixiviado: Maite Colomines

Comentarios: Francisco Javier Alcalá, Maite Colomines

Interpretación: Francisco Javier Alcalá, Emilio Custodio

Ejecución: Francisco Javier Alcalá

Fecha: marzo 2003

Organismos 1: IGME

2: UPC

Objetivos:

- Caracterizar el valor de la relación  $rCl/rBr$  en el entorno de varias instalaciones del Polo Industrial de Huelva, zona afectada por emisiones industriales a la atmósfera.

Características del muestreo: Se han instalado varios filtros para la captación de material particulado atmosférico mayor de 10 micras (PM10) en las proximidades de las instalaciones de Huelva metalurgia, Huelva petroquímica y Huelva fosfatos (Polígono Industrial de Huelva: Querol *et al.*, 2002). De igual forma se captó material particulado derivado del aerosol marino en un emplazamiento cercano a la costa. Se ha evaluado la cantidad de material particulado atrapado en cada filtro para cada emplazamiento durante un periodo temporal de año, mediante filtros que se han ido sustituyendo por otros en diferentes fechas hasta completar un año. Conocido el contenido de Cl por  $m^3$  de aire en cada filtro cambiado, el volumen de aire que pasó por cada filtro en el periodo transcurrido entre cada cambio de filtro y la superficie eficaz de paso de aire por los filtros, se ha obtenido el valor acumulado anual de deposición seca de Cl en cada emplazamiento (Tabla 1).

Se ha lavado el polvo atmosférico retenido en algunos de estos filtros (5 muestras seleccionadas) y se ha analizado el lixiviado obtenido (Tabla 2). Las muestras SR-42, SR-44 y SR-49 se han tomado en el entorno de la factoría petroquímica de Huelva; la muestra SR-84 se ha tomado a cierta distancia de las anteriores con el objeto de captar preferentemente aerosol marino; la muestra SR-85 se ha tomado en la zona próxima a una empresa metalúrgica.

Comprobaciones buscadas: Determinar el valor anual de deposición seca de Cl en la zona industrial de Huelva, situada próxima a la costa, y determinar el valor de  $rCl/rBr$  de algunas de estas muestras.

Tabla 1.- Características de la captación de material particulado atmosférico superior a 10 micras (PM10) y determinación de la deposición seca anual de Cl. Con \* se indica la cantidad calculada de Cl en un m<sup>3</sup> de aire, con \*\* se indican los valores de deposición seca obtenidos en cada filtro, con \*\*\* se indica el valor anual de deposición seca de Cl

HUELVA METALURGIA						
Fecha	Filtro	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Cl (µg/m <sup>3</sup> )*	Superficie filtro (cm <sup>2</sup> )	Deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> )**	Valor anual de deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup> ***)
10/08/1999	DO162	680	3,03	70	294,3	
07/08/2000	SR45	1667	4,8	70	1143,1	1150
24/11/2000	SR80	970	3,9	70	540,4	
HUELVA PETROQUIMICA						
Fecha	Filtro	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Cl (µg/m <sup>3</sup> )*	Superficie filtro (cm <sup>2</sup> )	Deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> )**	Valor anual de deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup> ***)
14/10/1999	DO-176	621	0,79	70	70,1	
21/07/2000	SR42	1716	0,7	70	171,6	736
01/08/2000	SR44	1668	0,6	70	143,0	
07/09/2000	SR49	1691	1,2	70	289,9	
HUELVA FOSFATOS						
Fecha	Filtro	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Cl (µg/m <sup>3</sup> )*	Superficie filtro (cm <sup>2</sup> )	Deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> )**	Valor anual de deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup> ***)
20/07/1999	DO155	656	1,97	70	184,6	
16/03/2000	SR23	1691	1,8	70	434,8	1768
23/12/2000	SR84	970	13,6	70	1884,6	
HUELVA AEROSOL MARINO						
Fecha	Filtro	Volumen de aire (m <sup>3</sup> )	Cl (µg/m <sup>3</sup> )*	Superficie filtro (cm <sup>2</sup> )	Deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> )**	Valor anual de deposición seca (mg·m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup> ***)
23/10/1999	DO-177	664	7,75	70	735,1	
29/12/2000	SR85	970	13,2	70	1829,1	2198

Tabla 2.- Resultados obtenidos de los análisis químicos del lixiviado preparado a partir del lavado de 5 filtros de sílice indicados en la Tabla 1. Las relaciones iónicas se expresan en meq/L

resultados del análisis de los lixiviados junio-2002 (IGME)											
topónimo	muestra	Cl	Br	rCl/rBr	SO <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	rSO <sub>4</sub> /rCl	Na	K	rNa/rK	F. muestreo
petroquímica	SR-42	5,5	0,048	258	72,5	23,1	9,7	2,4	1,1	3,7	21-jul-00
petroquímica	SR-44	5,3	0,085	141	51,8	5,7	7,2	2,6	2,5	1,8	01-ago-00
petroquímica	SR-49	6,9	0,146	107	47,4	<0,2	5,1	2,4	6,9	0,6	07-sep-00
Huelva fosfatos	SR-84	74,5	0,125	1342	21,5	<0,2	0,2	6,8	0,5	23,1	29-dic-00
Huelva aerosol marino	SR-85	62,8	0,099	1428	14,2	<0,2	0,2	8,0	0,4	34,0	23-dic-00
Doñana (agua de mar)	01/456-07	18532	71,151	586	2900	<0,5	0,1	14478	479	30,3	

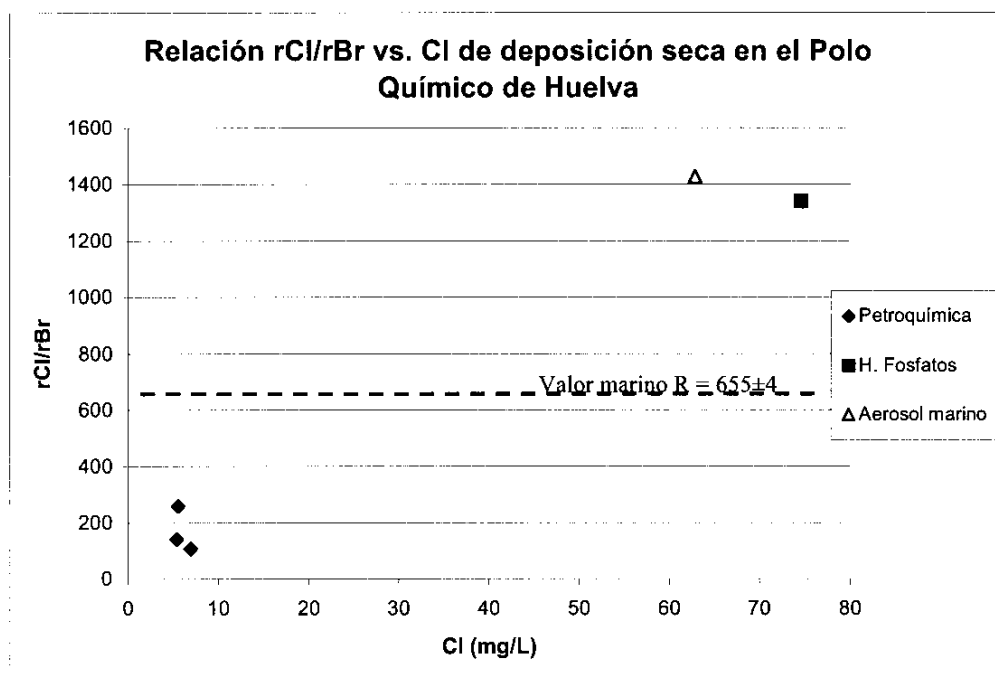


Figura 1. Representación gráfica de la relación rCl/rBr vs. Cl

Otros datos y gráficas:

Se dispone de analítica de elementos mayoritarios, minoritarios y traza.

#### Resultados:

Se ha determinado la concentración de compuestos iónicos de las 5 muestras de polvo atmosférico estudiadas (Tabla 2). Una vez conocido el volumen de aire que pasa por cada filtro ( $m^3$ ), se ha obtenido su concentración inicial en  $\mu g/m^3$  (Tabla 1). Los valores originales aparecen en Querol *et al.* (2002). El volumen de sales depositadas se ha lavado y se ha realizado el análisis químico del lixiviado obtenido en los laboratorios del IGME en Tres Cantos (Tabla 2).

Las tres muestras tomadas en el área de la Petroquímica de Huelva presentan contenidos más altos de  $SO_4$  y  $NO_3$  que las muestras tomadas en la factoría de fosfatos y la muestra representativa de aerosol marino; y los menores contenidos de Cl (entre 5-7 mg/L). Tiene un valor de R entre 100 y 250. El valor de  $rNa/rK$  está entre 0,5 y 3,5 (muy inferior al valor marino local).

La muestra tomada en la factoría de Fosfatos de Huelva y la muestra representativa de aerosol marino presentan un contenido en Cl entre 60 y 75 mg/L y un valor de R entre 1300 y 1400. Muestran contenidos muy bajos de  $SO_4$  y  $NO_3$  y un valor de  $rNa/rK$  entre 20 y 30 (algo inferior al valor marino local).

El cálculo de la deposición seca se ha realizado considerando el valor acumulado de material particulado y de aire circulante por cada filtro durante su

periodo de funcionamiento, obteniendo el valor acumulado anual. Cuando el periodo temporal de funcionamiento de los filtros ha superado un año se ha comparando el valor total obtenido para el tiempo total de funcionamiento respecto a un periodo de un año.

Las cantidades de deposición seca atmosférica anual de Cl han sido de 1150, 736, 1768 y 2198  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$  (Tabla 1). El emplazamiento de los filtros varía desde una posición próxima a la línea de costa hasta zonas del polígono industrial de Huelva algo más alejadas. No existen variaciones significativas de altitud entre los diferentes filtros.

---

#### Discusión:

La deposición seca, representada por la captación de material particulado inferior a 10 micras, constituye una parte de la deposición total atmosférica al terreno durante periodos sin lluvia.

Las muestras tomadas en la proximidad de la Petroquímica de Huelva (SR-42, SR-44 y SR-49) representan al material particulado procedente de la combustión de hidrocarburos fósiles. Su valor de R entre 100 y 250 es muy inferior al valor marino y puede estar asociado al enriquecimiento parcial en Br respecto de Cl de la materia orgánica fósil. Sus relaciones iónicas  $r\text{SO}_4/r\text{Cl}$  y  $r\text{Na}/r\text{K}$  son claramente superiores a los valores marinos. Presentan contenidos apreciables de ciertos metales pesados (Al, Fe, Cu, Ti,...) y  $\text{PO}_4$ .

Las muestras SR-84 y SR-85 pertenecen, respectivamente, a la deposición seca tomada en la factoría de Fosfatos de Huelva y a una muestra de polvo cercana al mar. Ambas muestras identifican la influencia marina en la deposición seca no contaminada de la zona. Sus relaciones iónicas son similares a las del agua de mar local (Tabla 1).

Los valores de R entre 1300 y 1400 se interpretan como debidos a la presencia de microcristales de halita recristalizada de procedencia marina en la fracción de polvo atmosférico, que han lavado preferencialmente el Br durante su formación.

Los valores de deposición seca atmosférica anual de Cl obtenidos oscilan entre 736 y 2198  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$  (Tabla 1). En la costa de Doñana se produce una deposición total atmosférica de Cl entre 8500 y 11000  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ , con un valor medio de  $\sim 10000 \text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ . Comparando estos valores con los aquí obtenidos (Tabla 1), se observa que la deposición seca de Cl constituye entre un 7 y un 20 % de la deposición total de Cl en zonas próximas a la costa en la provincia de Huelva.

---

#### Conclusiones:

Los tres filtros próximos a la Petroquímica de Huelva muestran valores de R entre 100 y 250, que se podrían atribuir a la combustión de hidrocarburos fósiles. El filtro de la factoría de Fosfatos de Huelva y filtro próximo al mar (SR-85) corresponden al polvo atmosférico de origen marino. Presentan valores de R entre 1300 y 1400, superior al marino, y debido a la presencia de halita recristalizada empobrecida en Br.

Los valores de deposición seca anual de Cl obtenidos oscilan entre 736 y 2198  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{año}^{-1}$ , constituyendo entre un 7 y un 20 % de la deposición total de Cl en zonas próximas a la costa en la provincia de Huelva.

---

Acciones:

Las caracterizaciones efectuadas de deposición seca de Cl y de la relación de rCl/rBr de algunas muestras son suficientes.

---

Referencias específicas:

Querol, X., Alastuey, A., De la Rosa, J., Plana, F., Ruiz, C.R. (2002). Source apportionment analysis of atmospheric particulates in an industrialised urban site (Huelva City) in South-western Spain. *Atmospheric Environment*, 36(19), 3113-3125.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las aguas cuya salinidad procede mayormente del aerosol marino presentan una relación  $R = rCl/rBr$  próxima a la típica marina, que vale  $655 \pm 4$ ; con un rango de variación obtenido que puede ser mayor a  $\pm 20$ , y que puede explicarse por imprecisiones analíticas y por el efecto del agua dulce de dilución para las aguas menos salinas. El valor de  $R$  no se ve afectado por procesos moderados de evaporación. Tal caso sucede para la mayoría de las aguas subterráneas muestreadas de pozos con intrusión marina. Cuando el origen de la salinidad es no marino y se debe a la adición o presencia natural o antrópica de diversas sales el valor de  $R$  varía.

Se ha observado que existen factores que modifican el valor de la relación  $rCl/rBr$  del agua de lluvia y las aguas subterráneas respecto a los valores de fondo regional, siempre que la contribución del aporte salino sea relativamente significativa. La adición de  $Cl$  a la atmósfera derivado de la polución atmosférica (quemado y degradación de plásticos, combustión de hidrocarburos, etc.) modifica el valor de  $R$  de la deposición atmosférica y en consecuencia el valor de  $R$  del agua de infiltración que posteriormente se observa en el acuífero. La adición de  $ClNa$  a las aguas subterráneas modifica el valor de  $R$ , tal y como sucede con el aporte de aguas residuales urbanas, ciertos vertidos industriales, tratamiento y/o utilización de sales industriales o retornos de riego que incluyen ciertos fertilizantes.

El conjunto de muestras estudiadas en el territorio peninsular e insular español pueden ser agrupadas en seis procesos de salinidad principales dependiendo del origen natural o antrópico de la salinidad.

1. Las aguas de recarga no afectadas en lugares próximos a la costa presentan un valor de  $R$  similar al marino de entre 500 y 700. Si el clima es árido el valor de  $R = 700-1300$  y se atribuye a la generación de aerosol marino formado por la evaporación parcial de gotículas de agua marina (precipitación preferencial de halita). Cuando se trata de lugares alejados de la costa, en el sentido de la procedencia de la lluvia, el valor de  $R$  suele ser menor que el del agua marina, entre 300 y 650. Estos valores de  $R$  pueden luego modificarse si la recarga procede de infiltración de escorrentía superficial que incorpora efectos antrópicos (incremento por efectos urbanos y disminución por ciertos efectos agrícolas) o recibir el efecto del lavado de la deposición seca salina en áreas costeras áridas (incremento de  $R$ ). En áreas urbanas costeras con polución atmosférica se constatan aguas de recarga con valores de  $R$  entre 400 y 550. En la mayoría de los casos, los valores de  $R$  del agua de recarga no afectada de forma importante suelen ser relación directa de los valores de  $R$  de la deposición total atmosférica en ese lugar (informe nº 6 del proyecto CICYT, HID 1999-0205).
2. Las aguas salobres y saladas por efecto de la presencia de agua de origen marino presentan una relación  $R$  próxima a la típica marina. Aguas afectadas por intrusión marina,  $R = 640-680$ . Aguas procedentes de salmueras de origen marino,  $R = 630-660$ .
3. El lavado y disolución de evaporitas naturales da valores de  $R$  diferentes al marino. La disolución de halita pura eleva el valor de  $R$  entre 3500 y 6600. La disolución de evaporitas sulfatadas con haluros ( $ClNa$ ) eleva  $R$  entre 1200 y



5400. La disolución de haluros potásicos disminuye el valor de R, obteniendo valores de R ~ 500 para la carnalita y R ~ 300 para la silvita.
4. En formaciones volcánicas de Canarias se observa que la adición de gases volcánicos residuales aumenta el valor de R a través de una cierta adición de haluros volátiles o de la propia meteorización de la roca, pudiéndose llegar a valores de R entre 750 y 1100.
  5. La salinidad asociada al lavado de productos derivados de la actividad minera potásica genera valores de R condicionados por las propias actividades. El lavado de escombreras recientes incorpora ciertas cantidades de silvita que por su mayor solubilidad se lavan inicialmente, dando valores de R ~ 320. Cuando las escombreras son antiguas lavan principalmente halita dando valores de R ~ 4300. El vertido de flotación minera, compuesto por haluros de varios tipos, da valores de R ~ 500.
  6. La incorporación de aguas residuales urbanas suele incrementar el valor de R entre 900 y 1400 a causa de la adición de halita de uso doméstico o industrial. El lixiviado de basuras y residuos sólidos urbanos proporcionan fuentes de salinidad que incrementan el valor de R entre 750 y 1000. El uso industrial de halita condiciona valores de R entre 4700 y 6700, similares al lavado de halita natural, lo que permite diferenciar la salinidad por residuos industriales o por lixiviado de sales evaporíticas naturales. El uso agrícola intensivo de desinfectantes del suelo puede hacer que R disminuya entre 200 y 500, dependiendo del grado de afección. Durante el uso de bromuro de metilo como tratamiento previo de suelos arenosos se produce volatilización de Br que luego es arrastrado por la lluvia.

En cualquier caso, la interpretación correcta de resultados hace necesario asegurar que el valor calculado de R tiene suficiente precisión, lo cual no es siempre cierto, bien por errores sistemáticos en la determinación o bien por que las medidas no son reproducibles ni lo suficientemente precisas. Hay situaciones en las que el valor de R no queda del todo explicado, debido principalmente a la escasez de parámetros químicos estudiados.

## 6. REFERENCIAS

- Custodio E. y Llamas, M.R. (1983). Hidrología Subterránea. Editorial Omega. Barcelona (2 Vols): 1-2350.
- Custodio, E. y Herrera, C. (2000). Utilización de la relación Cl/Br como trazador hidrogeoquímico en hidrología subterránea. *Bol. Geol. Min. España*. 111: 49-67.
- Custodio, E. y Alcalá-García, F.J. (2003). El potencial de la relación Cl/Br como indicador del origen de la salinidad de los acuíferos costeros españoles. En: *Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos*. Alicante. Vol. 1: 401-412.
- Davis, S.N., Whittemore, D.O. y Fabryka-Martin, J. (1998). Uses of chloride/bromide ratios in studies of potable water. *Ground Water*, Vol. 36: 338-350.
- HID 1999-0205 (2003). *Errors involved in the analytical determination of the ratio Cl/Br*. Informe nº 1. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 6 pp.
- HID 1999-0205 (2003). *Ensayo del valor hidrogeológico de la relación Cl/Br en el acuífero de La Aldea (isla de Gran Canaria) y caracterización de la precipitación*. Informe nº 4.

- Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 24 pp.
- HID 1999-0205 (2003). *Estudio de la deposición total atmosférica obtenida en la red de muestreo del IGME en diversas zonas de España*. Informe nº 6. Ministerio de Ciencia y Tecnología (CICYT). Investigador Principal: Emilio Custodio. 41 pp.
- Whittemore, D.O. (1988). *Bromide as a tracer in ground-water studies: geochemistry and analytical determination*. Proc. Ground Water Geochem. Conf., Denver National Water Well Assoc. Dublin, Ohio, 339-360.